

**Desempeño del prototipo de *Living Machine* como herramienta tecnológica e
innovadora para el aprendizaje**

Jamilet Ocampo Maya

Código: 1093227072

Andri Yulieth Ramírez Ramírez

Código: 1088022335

Universidad Tecnológica De Pereira

Facultad De Ciencias Ambientales

Administración Ambiental

Pereira, Risaralda

2019

**Desempeño del prototipo de *Living Machine* como herramienta tecnológica e
innovadora para el aprendizaje**

Jamilet Ocampo Maya

Código: 1093227072

Andri Yulieth Ramírez Ramírez

Código: 1088022335

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Administradora Ambiental

Director: Jeymmy Milena Walteros Rodríguez MSc.

Universidad Tecnológica De Pereira

Facultad De Ciencias Ambientales

Administración Ambiental

Pereira, Risaralda

*“Nadie puede construir un mundo mejor
sin mejorar a las personas.
Cada uno debe trabajar
para su propia mejora”*

Marie Curie

Nota de aceptación

Firma del director

Pereira, marzo de 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a DIOS, gracias por sus bendiciones y por permitirnos alcanzar nuestros sueños.

A nuestros padres, hermanos y familiares por su amor incondicional, su comprensión y apoyo, gracias por acompañarnos en este proceso de aprendizaje, a ustedes dedicamos nuestros triunfos y frutos de nuestro esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Pereira por proporcionarnos los conocimientos adquiridos a largo de nuestra carrera, y por brindarnos el espacio para el desarrollo de la investigación.

Infinitas gracias a los docentes del programa Administración Ambiental que con sus enseñanzas aportaron herramientas indispensables para realizar este trabajo.

Gracias a Jeymmy Milena Walteros Rodríguez MSc. y a Juan Mauricio Castaño Rojas PhD., por sus asesorías, enseñanzas y el apoyo que nos brindaron durante el desarrollo de esta investigación.

A los compañeros de Química Ambiental por la disposición para trabajar con nosotras.

Al Grupo de Investigación Ecología, Ingeniería y Sociedad - EIS por el acompañamiento y apoyo.

Al laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales, por su colaboración.

Agradecemos a todas las personas involucradas en el presente trabajo, a los amigos y colegas que nos brindaron apoyo para llevar a cabo el proceso.

Especialmente agradecemos a nuestras familias, quienes nos apoyaron durante toda la carrera de Administración Ambiental.

RESUMEN

La presente investigación explora la capacidad del prototipo *Living Machine* como una herramienta innovadora y tecnológica en el aula universitaria a partir de ejercicios didácticos con los estudiantes. Dado que esta herramienta promueve un modelo de enseñanza que le da relevancia a la forma en cómo se construye el conocimiento que se genera en los estudiantes, desarrollando las habilidades indispensables para desenvolverse en una sociedad globalizada.

En el desarrollo de la intervención fueron seleccionados dos grupos de la asignatura de Química Ambiental, un grupo recibió el tratamiento experimental y el otro no (grupo control). La intervención contó con la implementación de actividades didácticas y guías de laboratorio, como práctica del contenido teórico dictado en la asignatura. Las actividades didácticas propuestas se realizaron con el fin de alcanzar los objetivos de aprendizaje, esta se caracteriza por ser una continuidad interrelacionada, que se estructura progresivamente de tal manera que cada una de las actividades propuestas sean complementarias entre sí.

Como instrumentos de recolección de datos se realizaron cuestionarios (Pretest – Posttest) antes y después de la intervención didáctica, que constaban de seis preguntas de selección múltiple con única respuesta, que a su vez contaban con tres espacios donde los estudiantes escribieron sus explicaciones frente a la respuesta escogida. La finalidad del Pretest/Posttest fue identificar el nivel de capacidad argumentativa inicial y final de cada estudiante. El análisis de los datos se realizó mediante una calificación consignada en una tabla.

La finalidad de esta investigación fue implementar el prototipo de *Living Machine* en el proceso formativo de los estudiantes de Química Ambiental, para observar si se adquiría a

través de esta una adecuada apropiación de los conocimientos, y se fomentaran competencias en ellos para el desarrollo de procesos investigativos, como son: la observación, el análisis, la formulación de preguntas, recolección de información y discusión de resultados, a través de la experimentación.

Como resultado, se obtuvo que este tipo de tecnologías bien implementadas pueden llegar a generar en el estudiante procesos de formación y responsabilidad ambiental, que son fundamentales para iniciar el camino de una reinvención colectiva de las formas de generar desarrollo y hacer gestión, además de mejorar la relación entre los individuos y el sistema natural en el cual desarrollan su vida.

ABSTRACT

This research explores the capacity of the Living Machine prototype as an innovative and technological tool in the university classroom based on didactic exercises with the students. Given that this tool promotes a teaching model that gives relevance to the way in which the knowledge generated in students is built, developing the indispensable skills to function in a globalized society.

In the development of the intervention two groups of the subject of Environmental Chemistry were selected, one group received the experimental treatment and the other did not (control group). The intervention included the implementation of didactic activities and laboratory guides, as a practice of the theoretical content taught in the subject. The didactic activities proposed were carried out in order to teach relevant educational content to achieve the learning objectives, this is characterized by an interrelated continuity, which is progressively structured in such a way that each of the proposed activities are complementary to each other.

As data collection instruments, questionnaires (Pretest - Posttest) were carried out before and after the didactic intervention, which consisted of six multiple choice questions with a single answer, which in turn had three spaces where the students wrote their explanations in front of the chosen response. The purpose of the Pretest / Posttest was to identify the level of initial and final argumentative ability of each student. The analysis of the data was carried out by means of a score recorded in a table.

The purpose of this investigation was that when the Living Machine prototype was

implemented in the training process of students of environmental chemistry, an adequate appropriation of the knowledge will be observed, and competences will be fostered in them for the development of investigative processes, such as: the observation, the analysis, the formulation of questions, gathering of information and discussion of results, through experimentation.

As a result, this type of well-implemented technologies can generate environmental training and responsibility in the student, which is fundamental to start the path of a collective reinvention of the ways of generating development and management, as well as improving the relationship between the individuals and the natural system in which they develop their life.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1:	Introducción	16
1.1.	Planteamiento del problema	16
1.2.	Justificación.....	19
1.3.	Objetivos	21
1.3.1.	Objetivo General.....	21
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	21
Capítulo 2:	Estado del Arte	22
2.1.	Antecedentes	22
2.1.1.	La <i>Living Machine</i> como sistema de tratamiento de agua residual	22
2.1.2.	La <i>Living Machine</i> como modelo dinámico para fortalecer la enseñanza de las Ciencias Naturales	24
2.2.	Marco de Referencia	26
2.2.1.	Construcción Sistema <i>Living Machine</i>	26
2.2.2.	Formación por Competencias	29
Capítulo 3:	Dinámicas de respuesta del prototipo <i>Living Machine</i> en el tratamiento y remoción de contaminantes en el agua	33
3.1.	Resumen.....	33
3.2.	Introducción.....	33
3.3.	Métodos.....	35
3.4.	Resultados	39
3.4.1.	Principios	39
3.4.2.	Tanques.....	41
3.4.3.	Caracterización de Especies vegetales	43
3.4.4.	Caracterización de Especies Animales.....	50
3.4.5.	Características del Agua	55
3.5.	Discusión de Resultados	60
Capítulo 4:	Funcionamiento del prototipo de <i>Living Machine</i> dentro del aula universitaria en los procesos de enseñanza-aprendizaje	68
4.1.	Resumen.....	68
4.2.	Introducción.....	68
4.3.	Métodos.....	70
4.3.1.	Valoración de la Intervención	70

4.3.2. Intervención	73
4.4. Resultados	75
4.4.1. Resultados Pretest	76
4.4.2. Resultados Posttest.....	79
4.4.3. Intervención	80
4.5. Discusión de Resultados	81
5. Conclusiones y Recomendaciones	84
6.Referencias.....	87
7.Anexos	93

LISTAS ESPECIALES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principios de Diseño para la Construcción de la <i>Living Machine</i>	27
Figura 2. Etapas de Tratamiento.	28
Figura 3. Conexión de Tanques.	36
Figura 4. Reactor Anóxico.....	41
Figura 5. Reactor Aeróbico Cerrado.	41
Figura 6. Reactor Aeróbico Abierto.	42
Figura 7. Clarificador.	42
Figura 8. Lechos Ecológicos.....	43
Figura 9. Niveles de pH en cada uno de los tanques que conforman al prototipo <i>Living Machine</i>	56
Figura 10. Transformación semanal de la Alcalinidad en el prototipo <i>Living Machine</i>	56
Figura 11. Variación del Oxígeno Disuelto por tanque semanalmente.....	57
Figura 12. Conductividad por tanque en el prototipo <i>Living Machine</i>	57
Figura 13. Comportamiento de los parámetros inorgánicos del agua tomados con los estudiantes de Química Ambiental.	58
Figura 14. Comportamiento de la DBO5 y DQO en el sistema <i>Living Machine</i>	59
Figura 15. Transformación de la DBO ejercida con respecto al tiempo.	59
Figura 16. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo control aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira	77

Figura 17. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo experimental aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira 78

Figura 18. Primera sesión con los estudiantes de la asignatura de Química Ambiental.
..... 80

Figura 19. Construcción de las mini- *Living*s con el grupo experimental de la asignatura de Química Ambiental 80

Figura 20. Mini-*Living*s elaboradas por los estudiantes del grupo experimental de Química Ambiental..... 81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición por Tanque	37
Tabla 2. Caracterización de especies vegetales	45
Tabla 3. Caracterización de especies animales	51
Tabla 4. Rejilla teniendo en cuenta los componentes de la argumentación de cada nivel	72

ANEXOS

Anexo 1. Guías de Laboratorio Química Ambiental	93
Anexo 2. Evidencia Fotográfica.....	109
Anexo 3. Valoración Pretest y Postest.....	111
Anexo 4. Evidencia argumentaciones estudiantes.....	112

Capítulo 1: Introducción

La Administración Ambiental en su proceso de creación y divulgación de conocimientos, debe responder a las exigencias de la nueva dimensión ambiental; a partir de la formación de profesionales capaces de enfrentar la velocidad e incertidumbre de las problemáticas ambientales que acontecen en las realidades territoriales. Para lograr esto, es necesario la formación integral de los estudiantes, donde se desarrollen y adopten nuevas capacidades y actitudes que le permitan adquirir una visión crítica, sistémica e investigativa sobre las diversas dinámicas ambientales que se presentan.

Por ello, resulta apremiante que los estudiantes cuenten con diversas herramientas que permitan entender con mayor claridad lo que sucede en su entorno. Una de estas herramientas es la *Living Machine*, un ecosistema modelado que posibilita el aprendizaje de las ciencias ambientales y provee alternativas para la educación ambiental.

La presente investigación explora la capacidad del prototipo *Living Machine* como una herramienta innovadora y tecnológica en el aula universitaria, con el fin de mejorar la situación actual del proceso educativo, donde se responda a las exigencias sociales, científicas y pedagógicas que se dan actualmente; y que obedezca a una concepción de ciencia como proceso y no como resultado, con acciones que fomenten la relación armónica entre el saber, el saber hacer y el saber ser en los estudiantes.

1.1. Planteamiento del problema

La educación como práctica social, se promueve como compleja y diversa, puesto que responde a las demandas del contexto socio cultural de cada territorio, por ello en los últimos tiempos se han venido desarrollado diversas y deslumbrantes interpretaciones pedagógicas

(Suárez, 2000) que dan origen a nuevos métodos de enseñanza-aprendizaje dentro de los procesos educativos que rigen al país, ya que los tradicionales se han caracterizado por una educación lineal y estática que limitan al educando.

La función de la educación así concebida es preparar a las nuevas generaciones para el desempeño exitoso de las funciones y los papeles o roles vitales propios del hombre dentro de un territorio, que se caracteriza por una determinada cultura (De la Orden Hoz, 2011). En tal sentido, parece difícil que en la actualidad el ser humano logre comprender el territorio sin una formación científica básica, puesto que este cada vez es más complejo, cambiante y desafiante, como consecuencia de las diversas interacciones que se dan entre la sociedad y la naturaleza; por ello resulta apremiante que la sociedad cuente con los conocimientos y herramientas necesarias para comprender el entorno y aportar a su transformación, siempre desde una postura crítica y ética frente a los hallazgos y enormes posibilidades que ofrecen las ciencias (Ministerio de Educación, 2004)

Lo anterior, resulta más apremiante para la formación profesional de los Administradores Ambientales, pues es de vital importancia que los educadores suministren a los educandos herramientas que faciliten el proceso interpretativo de las condiciones ambientales de un territorio, para que se dé una adecuada gestión ambiental. Para lograrlo, los estudiantes parten de unos conocimientos científicos básicos que algunas veces van acompañados de prácticas y salidas académicas que les permite observar de forma directa los problemas ambientales, pero esto algunas veces no es suficiente, dado que en el camino los estudiantes pueden no desarrollar completamente las habilidades y capacidades que les permitan obtener una visión investigativa y científica sobre las diversas dinámicas ambientales que se presentan, lo cual

genera vacíos académicos que se expresan al finalizar la carrera o en la ejecución de la profesión.

Por este motivo, se deben promover y desarrollar diversas herramientas dentro de la educación como la *Living Machine*, que permite desarrollar una percepción ambiental, ampliar sus expectativas y desarrollar su capacidad argumentativa, analítica y crítica, frente a diferentes sucesos y dinámicas asociados a sistemas complejos. Esto en el servicio de la Educación Ambiental, dado que busca fomentar la adquisición y la transferencia de conocimiento acorde a las necesidades del ambiente y sus problemas, como lo son los vertimientos de Aguas Residuales Domésticas (ARD) no tratadas en cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos y mares), que generan problemas referentes a la salud pública y afectación en el ambiente. La Educación Ambiental se basa en el aprendizaje significativo, que permite relacionar los nuevos conocimientos con vivencias y experiencias que el estudiante obtiene a partir de la aplicación de la herramienta.

Cabe resaltar que los educadores como formadores ambientales deben liderar los cambios en lo individual y lo colectivo, en lo individual genera autonomía (toma de decisiones individuales), en lo colectivo genera autogestión (decisiones colectivas) (Pedraza, 2003). Dejando atrás el deficiente proceso de enseñanza unilateral, que dificulta el desarrollo de autonomía y de participación en los estudiantes, lo que limita el aprendizaje y el desarrollo de habilidades que fortalezcan capacidades que ayuden a desenvolverse como profesionales.

Los formadores deben aprender a desaprender ciertos comportamientos y maneras de “educar” y se convierten como dice Cars Rogers, en “facilitadores del aprendizaje”, así incentiva a sus estudiantes a desarrollar su potencial individual al máximo, a expresar sus necesidades e intereses personales, a aprender a desarrollarse

interiormente, a rescatar los valores humanos y revalorizarlos, a cuestionar constantemente su entorno y a plantear alternativas creativas para convivir mejor con nuestros semejantes y el medio ambiente (Pedraza, 2003,p. 129).

Para finalizar, se destaca el rol de los educadores en el proceso de transformación de la educación, puesto que son los promotores de las experiencias vivenciales del conocimiento que ayudan a la toma de decisiones en los territorios, en pro de mejorar la calidad de vida de las comunidades y de sus interrelaciones con la naturaleza.

1.2. Justificación

Esta investigación busca promover la *Living Machine* como una herramienta práctica para la Educación Ambiental, la cual genera intereses investigativos y contribuye a la formación de competencias en los estudiantes (Velázquez, 2013). Se hace necesario dado que la Educación Ambiental facilita la concientización y compromiso de los individuos sobre el actual desequilibrio ambiental, que es el resultado de la catástrofe ecológica que se vive, producida por el pensamiento con el que se ha construido y destruido el mundo (Leff, 2000). Por ello, se hace necesario que la educación y el aprendizaje vayan más allá de recolectar y de transmitir conocimientos, esta debe abocarse a proponer respuestas a los problemas y a las necesidades que se hacen presente en la nueva dimensión ambiental, donde se origine un modelo que integre saberes, acciones, de interacción social y de autoconocimiento, desde una perspectiva integral, holística y dinámica, donde se generen nuevos espacios para la reproducción de la cultura y la transformación social.

Como consecuencia de lo anterior, los procesos de enseñanza-aprendizaje requieren de la inclusión de herramientas y/o recursos innovadores, que permitan a los estudiantes ampliar

sus expectativas y desarrollar su capacidad argumentativa, analítica y crítica, frente a diferentes sucesos y dinámicas asociados a sistemas complejos. La *Living Machine* se convierte en una de estas herramientas, ideales para que los estudiantes de Ciencias Ambientales mejoren sus capacidades argumentativas y desarrollen un pensamiento ambiental, dado que esta herramienta dentro del aula promueve un modelo de enseñanza que le da relevancia a la forma en cómo se construye el conocimiento que se genera en los estudiantes, desarrollando habilidades indispensables para desenvolverse en una sociedad globalizada; y con esto dejando atrás la metodología tradicional que generalmente conlleva al estudiante a seguir un esquema repetitivo de contenidos, desconociendo su realidad y sus intereses, sin lograr generar realmente un aprendizaje significativo (Valbuena, 2008).

Es así como se pretende que al implementarse el prototipo de *Living Machine* en el proceso formativo de los estudiantes de Química Ambiental, se observe una adecuada apropiación de los conceptos ambientales fundamentales y del contenido científico. De igual modo, el desarrollo de procesos investigativos, como: la observación, el análisis, la formulación de preguntas, recolección de información y discusión de resultados, puesto que las bases de aprendizaje mediante una herramienta como la descrita, es la experimentación. Además, el programa de Química ambiental busca fomentar en el estudiante la crítica y el análisis a partir de la apropiación de una visión integral sobre los componentes e interacciones de un ecosistema (natural o artificial), y brinda herramientas que permiten al estudiante la apropiación de conceptos básicos sobre la existencia de diferentes compuestos químicos, físicos y biológicos (algunos reconocidos como contaminantes), que se encuentran presentes en el aire, agua y suelo (UTP, sf, p.1). Es decir, permite conocer los aspectos relevantes que intervienen en un ecosistema para crear juicios y valoraciones que facilitan la toma de

decisiones como gestores ambientales. Por último, cabe resaltar que este tipo de tecnologías bien implementadas pueden llegar a generar en el estudiante responsabilidad, conciencia y sensibilidad hacia el ambiente y sus problemas.

Lo anteriormente expuesto es fundamental para iniciar el camino de una reinversión colectiva de las formas de generar desarrollo y hacer gestión, además de mejorar la relación entre los individuos y el sistema natural en el cual desarrollan su vida.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el desempeño del prototipo de *Living Machine* como herramienta tecnológica e innovadora en los procesos de enseñanza- aprendizaje en el programa de Administración Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira

1.3.2. Objetivos Específicos

Examinar las dinámicas de respuesta del prototipo Living Machine en el tratamiento y remoción de contaminantes en el agua

Comprobar el funcionamiento del prototipo de Living Machine dentro del aula universitaria en los procesos de enseñanza-aprendizaje con estudiantes del programa Administración Ambiental en áreas de Química Ambiental.

Capítulo 2: Estado del Arte

2.1. Antecedentes

2.1.1. La *Living Machine* como sistema de tratamiento de agua residual

El *Corkscrew Swamp* es una atracción natural que ofrece experiencias de observación de la naturaleza. El Dr. Todd propuso una *Eco-Machine* para *Corkscrew Swamp Sanctuary* que ocupa un área de 70×70 pies, el cual purifica los desechos sin aditivos y recicla el 90% del agua tratada para su reutilización en los baños (Ocean Arks International, 2018).

Los desechos se bombean primero a dos tanques de fibra de vidrio subterráneos de 10.000 galones para la digestión anaeróbica inicial, luego a una serie de tanques de 2.500 galones, cada uno de los cuales es aireado y provisto de bacterias, plantas verdes de algas, árboles, caracoles, camarones, insectos y peces. Aquí el amoníaco y el nitrógeno orgánico se convierten en nitratos, posteriormente el agua fluye a un sexto tanque donde cualquier sedimento remanente se bombea de regreso a los tanques anaeróbicos. Los humedales construidos consisten en dos marismas artificiales revestidas de plástico de 30x30 pulgadas, llenas de piedra caliza triturada. Las marismas están plantadas con especies típicas de humedales del pantano que eliminan los últimos vestigios de nitrógeno a través de los sistemas de raíces y los convierten en nitrógeno inofensivo, cuando el efluente sale de estas marismas, está limpio. Sin embargo, para satisfacer a los reguladores estatales, se desinfecta con cloro, se bombea a un tanque de retención, y luego se bombea a una cámara para descongelar el agua con sulfito de sodio. Finalmente, el agua se recicla en los baños para enjuagar (Ocean arks international, 2018).

En 2003, *The Omega Institute* acudió a John Todd *Ecological Design* interesado en opciones para el tratamiento de aguas residuales en su campus en *Rhinebeck, Nueva York*. Durante un tiempo se discutió la finalidad el sistema a implementar, lo que comenzó como una planificación para una instalación de aguas residuales se convirtió en un diseño ecológico regenerativo.

Con el fin de tratar hasta 52,000 galones por día de aguas residuales domésticas, el OCSL utiliza una combinación de humedales construidos al aire libre y células acuáticas aireadas ubicadas dentro del invernadero que sirven como el espacio principal del edificio. Las aguas residuales se recolectan a través del campus y se transportan a dos tanques de compensación. El agua residual se transporta a través de los siguientes componentes de tratamiento: Tanques sépticos, ecualización y tanques anóxicos, humedales construidos, lagunas de tratamiento, filtro de arena de recirculación y finalmente el campo de irrigación y dispersión (Ocean arks international, 2018).

Así mismo, en la Universidad de Vermont realizó una renovación verde y la expansión del Centro *Aiken*, buscando un diseño sostenible de edificios ecológicos y un proceso de planificación colaborativa, que se llevó a cabo entre octubre de 2006 y diciembre de 2012. Un estudiante específicamente, bajo la dirección de un consejero de la facultad y el docente John Todd, realizaron el diseño principal de *EcoMachine®*, que imita el tratamiento de aguas residuales naturales de un ecosistema de humedal. *Greywater*, un producto final de este sistema se reutiliza en los inodoros y urinarios del edificio. El ahorro de agua para el *Aiken Center* se estima en un 75%, el agua que sale del edificio y entra al sistema de alcantarillado de la ciudad es de calidad de aguas grises, lo que reduce los químicos necesarios para limpiar

el agua en el proceso tradicional de tratamiento de agua (National Institute of Building Sciences, 2017).

2.1.2. La *Living Machine* como modelo dinámico para fortalecer la enseñanza de las Ciencias Naturales

Como primer referente están los creadores de esta tecnología, Nancy Jack Todd y John H. Todd, que también han creado otros sistemas ecológicos para la restauración del medio ambiente y han aportado innumerables conocimientos del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y al avance científico-tecnológico del planeta.

Por otra parte, se rescata el trabajo internacional desarrollado por Coronel y Núñez en el año 2015, bajo el nombre de “Experiencia integradora para educación ambiental”, llevado a cabo en Argentina. Este trabajo aporta a esta investigación a partir de la propuesta didáctica experimental donde el punto focal del trabajo es la situación ambiental local, para promover el cuidado de la naturaleza y su uso sostenible. Estos investigadores desarrollaron materiales y guías didácticas que permitieran facilitar y dinamizar el aprendizaje en el aula. Como resultado se obtuvo una validación positiva para la hipótesis, la cual consistía en manifestar que la formación en las ciencias naturales promueve valores para el cuidado del medio ambiente en los estudiantes. De este modo, como conclusión se tiene que los nuevos modelos de aprendizaje en el aula, como es la *Living Machine*, puede llegar a generar impactos positivos en la enseñanza de las ciencias ambientales.

Velásquez (2013), diseñó el proyecto llamado “*Living Machine* como una herramienta práctica para la educación ambiental”, como trabajo de grado para obtener el título de Administradora Ambiental en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira. El proyecto tuvo como objetivo evaluar si el prototipo de *Living*

Machine funcionaba como herramienta para la educación ambiental en dos niveles escolares: básica y universitaria. Como resultado, se obtuvieron unas guías de trabajo que podrían ser aplicadas en cualquier ciclo escolar. Aunque estas no se validaron de acuerdo con el objetivo, si se desarrollaron con los estudiantes de Pedagogía Infantil y de Administración Ambiental. Velázquez (2013), al finalizar determinó que la *Living Machine* es apta para la educación ambiental, ya que despierta en los estudiantes habilidades científicas e investigativas que son significativas para su vida.

Rincón (2017), realizó el proyecto investigativo llamado “*Living Machine*, un modelo dinámico aplicado en el área de Ciencias Naturales para el desarrollo de la capacidad argumentativa en estudiantes de grado tercero de la Institución Educativa CASD”, como trabajo de grado para obtener el título de Magíster en Ciencias Ambientales con énfasis en Enseñanza de las Ciencias Naturales. El objetivo fue identificar y analizar el nivel de desarrollo de la capacidad argumentativa de los estudiantes de grado tercero de la Institución Educativa CASD de Armenia. Como resultado principal se obtuvo que los estudiantes a través de la interacción y la observación de la *Living Machine*, lograran apropiarse de los elementos de la argumentación y mejorar aspectos importantes de su discurso, lo cual, fortaleció la capacidad argumentativa en general. A través de la observación, los estudiantes pudieron ir avanzando en cada uno de los elementos de la argumentación.

Marulanda (2017), realizó el proyecto investigativo llamado “Intervención didáctica basada en el prototipo *Living Machine* para fomentar capacidades argumentativas macro proyectó *Living Machine*” como trabajo de grado para obtener el título de Magíster en Ciencias Ambientales con énfasis en Enseñanza de las Ciencias Naturales. Su objetivo fue determinar las capacidades argumentativas adquiridas en Ciencias Naturales y Educación

Ambiental, posterior a la aplicación de una Secuencia Didáctica basada en la *Living Machine* en estudiantes de grado séptimo uno de la Institución Educativa Ciudadela del Sur de Armenia. Los resultados más importantes con la secuencia didáctica aplicada en este estudio permitieron a los educandos acercarse a los conocimientos científicos desde una perspectiva práctica, fundamentada en el que hacer constructivista y el trabajo en equipo como medio para mejorar los componentes de la argumentación referentes a la construcción de conclusiones, uso de datos, justificaciones y conocimientos básicos. Las competencias en Ciencias Naturales y Educación Ambiental muestran un desarrollo significativo luego de la aplicación de la intervención didáctica, referente al desempeño en las preguntas del postest en contraste con el pretest.

2.2. Marco de Referencia

2.2.1. Construcción Sistema *Living Machine*

Para la construcción del ecosistema acuático se debe tener en cuenta los doce principios (Figura 1) planteados por Todd y Josephson (1996), en el artículo llamado el “Diseño de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales”.



Figura 1. Principios de Diseño para la Construcción de la *Living Machine*.

Así mismo, para la construcción del prototipo de *Living Machine* es necesario una estructura conformada por 5 tanques, que corresponden a las etapas de tratamiento (Figura 2). Inicialmente, al sistema ingresa agua residual que fluye por cada uno de los tanques que lo conforman, empezando por el reactor Anóxico hasta llegar al tanque de lechos ecológicos donde el agua retorna nuevamente al primer tanque, este proceso se realiza por medio de tubos comunicantes ubicados en la parte superior de cada tanque, por medio de sifoneo se recircular el agua a través de todo el sistema.

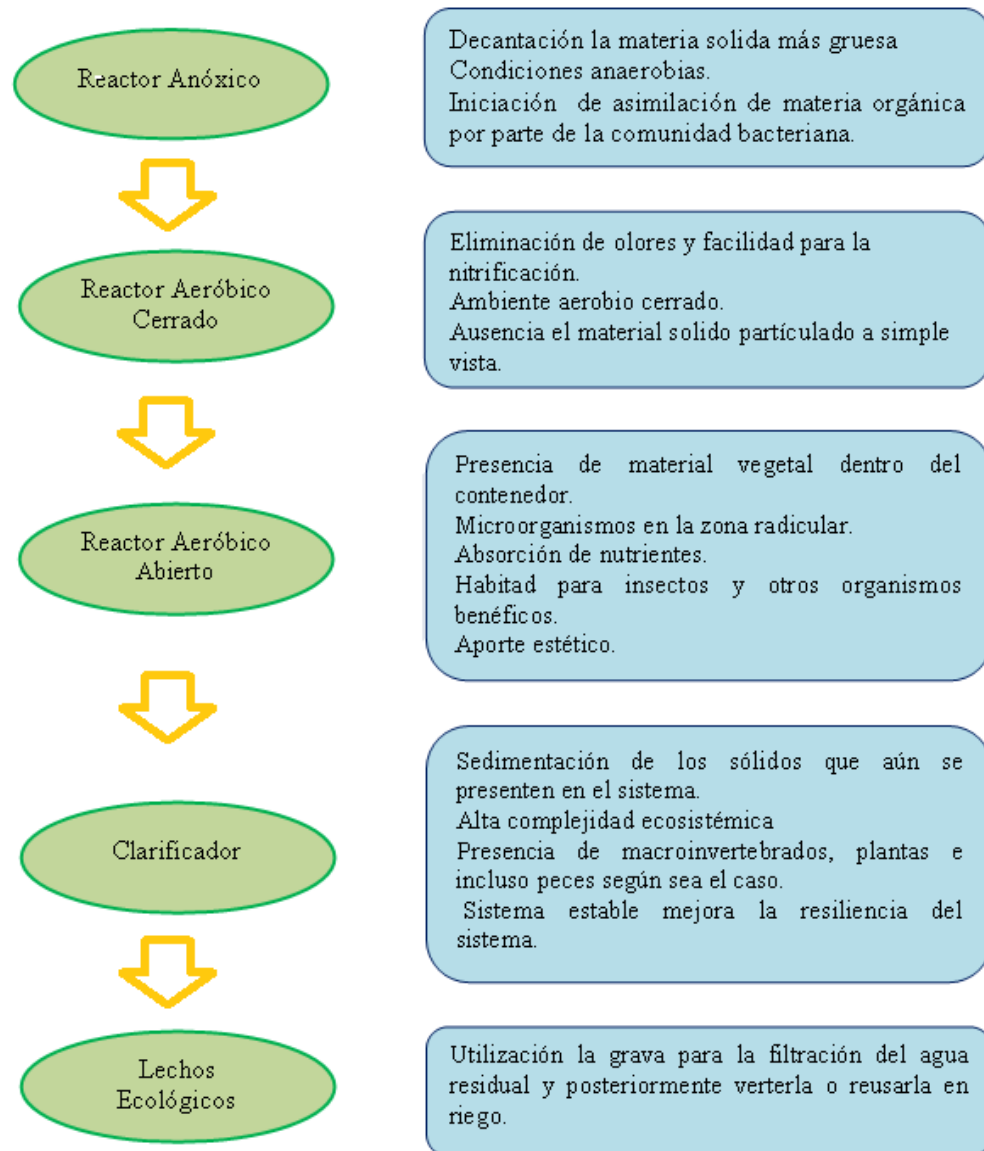


Figura 2. Etapas de Tratamiento.

Los desechos generados por los organismos habitantes de un tanque pasan a través de los tubos mencionados anteriormente y se convierten en el alimento de los organismos del tanque contiguo. Después de una semana de filtración, los desechos se descomponen en nutrientes y alimento para las algas, caracoles y plantas acuáticas. Posterior a su depuración el agua puede ser utilizada para riego y descarga de inodoros.

2.2.2. Formación por Competencias

En las décadas del 70 y el 80 el sistema de formación profesional toma auge bajo el apogeo de parámetros de eficiencia y eficacia empresarial, donde se comienza a crear de forma paulatina una serie de criterios con el fin de implementar procesos de formación para el trabajo que dan lugar en la década del 80 y del 90 al enfoque de competencias laborales (Tobón, 2006). Estos primeros planteamientos buscaban generar una formación acorde al contexto de competitividad empresarial de la época, a través del desarrollo de tareas auténticas que posibilitaran la retroalimentación eficaz para generar cambios o mejoras (Boud y Falchikov, 2007; Nicol, 2007, citado en March, 2010).

Las competencias se vienen abordando desde entonces en la educación y en el mundo organizacional a partir de diferentes enfoques como el conductismo, el funcionalismo, el constructivismo y el sistémico-complejo (Tobón, 2008). Este último enfoque representa una alternativa respecto a los demás enfoques, puesto que da prioridad a la formación de personas integrales con compromiso ético, que busquen su autorrealización, que aporten al tejido social y que, además, sean profesionales idóneos y emprendedores (Tobón, 2008, p. 3). Asimismo, busca generar las condiciones de enseñanza-aprendizaje necesarias para facilitar la formación de las competencias a partir de la articulación de la educación con los procesos sociales, económicos, políticos, culturales y ambientales en los cuales están inmersas las personas (Tobón, 2006).

A partir de este enfoque, se han establecido múltiples definiciones de las competencias, tales como la de Bogoya donde se refiere a las competencias como “una actuación idónea que emerge en una tarea concreta, en un contexto con sentido [...] de manera suficientemente flexible como para proporcionar soluciones variadas y pertinentes” (2000, p.11). Por otro

lado, Tobón (2008) manifiesta que las competencias son el resultado del reencuentro de dos criterios teóricos en las ciencias de la educación: el cognitivismo y el constructivismo, y a partir de allí propone estrategias de formación que favorezcan la construcción gradual de los conocimientos en el estudiante tomando en cuenta los elementos afectivos, cognitivos y metacognitiva de los mismos, siendo estos extremadamente importantes en la comprensión del aprendizaje.

De acuerdo con lo anterior, Tobón (2008) propone concebir las competencias como:

Procesos complejos de desempeño con idoneidad en determinados contextos, integrando diferentes saberes (saber ser, saber hacer, saber conocer y saber convivir), para realizar actividades y/o resolver problemas con sentido de reto, motivación, flexibilidad, creatividad, comprensión y emprendimiento, dentro de una perspectiva de procesamiento metacognitivo, mejoramiento continuo y compromiso ético, con la meta de contribuir al desarrollo personal, la construcción y afianzamiento del tejido social, la búsqueda continua del desarrollo económico-empresarial sostenible, y el cuidado y protección del ambiente y de las especies vivas.

Por otro lado, las competencias tienen como característica ser integradoras, combinatorias, contextuales y evolutivas, además, se desarrolla a lo largo de la vida, se habla entonces de carácter “desarrollacional” de la competencia, el cual se lleva a cabo de manera compleja y exige tiempo (March, 2010).

Las competencias tienden a ser conceptualizadas como aquellos comportamientos observables y habituales que posibilitan el éxito de una persona en una actividad o función, o sea constituyen un saber hacer en contexto (Hernández, Rocha y Verano, 1998) que implica

el análisis y el manejo de problemas del entorno mediante el uso de conocimientos y de recursos de la situación. Tal definición de competencias como “saber hacer en contexto” tiene seis problemas fundamentales (Tobón, 2006, párr. 2):

1. El “saber hacer” enfatiza en lo procedimental dejando de lado aspectos esenciales de la racionalidad humana tales como el entender y el comprender las implicaciones de los hechos (Montenegro, 2003 citado en Tobón, 2006)
2. No tiene en cuenta la actitud hacia el desempeño idóneo y su articulación con valores personales
3. El desempeño se reduce a la acción y a resolver problemas sin tener en cuenta la asunción de la responsabilidad por el actuar humano
4. Aborda la actuación en el entorno, pero descuida o no tiene en cuenta que las actuaciones inteligentes de mayor impacto implican la transformación de dicho entorno a favor del bienestar humano (Montenegro, 2003 citado en Tobón, 2006)
5. Se asume el saber hacer de forma separada del saber conocer y del saber ser, cuando la realidad muestra que todo proceso de desempeño integra los tres saberes
6. El “hacer” es muy limitado y denota interacción con objetos, dejando de lado acciones humanas interpersonales e intrapersonales (Montenegro, 2003 citado en Tobón, 2006).

La formación basada en competencias acepta una nueva inteligencia y racionalidad que trascienda la parcelación y la fragmentación con el fin de que aborde la realidad en su multidimensionalidad, a partir de conceptualizar las competencias como procesos complejos que las personas ponen en acción- actuación- creación para resolver problemas y realizar actividades, aportando a la construcción y transformación de la realidad, para lo cual integran

el saber ser, el saber conocer y el saber hacer, teniendo en cuenta los requerimientos específicos del entorno, las necesidades personales, y los procesos de incertidumbre, con autonomía intelectual, conciencia crítica y creatividad, siempre buscando el bienestar humano (Tobón, 2006).

Por consiguiente, Tobón (2006) establece que las competencias deben ser abordadas desde un diálogo entre tres ejes centrales: (1) las demandas del mercado laboral – empresarial – profesional, (2) los requerimientos de la sociedad, y (3) la gestión de la autorrealización humana desde la construcción y el afianzamiento del proyecto ético de vida.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede indicar que la formación basada en competencias es una estrategia para formar personas que sean capaces no solo de ejercer adecuadamente un determinado campo, sino también de buscar el pleno bienestar y la autorrealización.

Por ello, este tipo de procesos de enseñanza - aprendizaje son de gran idoneidad para la formación de Administradores Ambientales, puesto que se basa en la resolución de conflictos ambientales a partir de la reflexión sobre la necesidad de cambiar estructuras personales y colectivas para proteger y conservar integralmente el medio ambiente; llevándolos a entender que son parte de él y debemos garantizar futuro a las actuales y próximas generaciones.

Capítulo 3: Dinámicas de respuesta del prototipo *Living Machine* en el tratamiento y remoción de contaminantes en el agua

3.1. Resumen

El presente capítulo pretende dar a conocer el proceso de la construcción del prototipo de *Living Machine* a partir de los principios de diseño, los pasos tenidos en cuenta en la construcción y la caracterización de las especies introducidas al sistema. Así mismo, se exponen las dinámicas presentadas en el sistema evidenciadas en la medición de parámetros físicos-químicos, y los cambios que se dieron en la *Living Machine* como respuesta a la experimentación con el pulso contaminante.

3.2. Introducción

El desarrollo inicial de la tecnología fue en los Estados Unidos, atribuida al Dr. John Todd, un diseñador ecológico que se dedica a la investigación sobre la protección y restauración del agua; Todd es el reconocido inventor del sistema acuático solar que utiliza las propiedades de los sistemas naturales para limpiar las aguas residuales.

El sistema *Living Machine* es una marca registrada de *Ocean Arks International* desde 1991, y cuya tecnología hace parte de la disciplina emergente de la ingeniería ecológica. La *Living Machine* se diseña con la finalidad de simular el funcionamiento de ecosistema acuático conformado por algas microscópicas, los hongos, las bacterias, los protozoos y el zooplancton, igualmente los caracoles, las almejas y los peces, cuyo objetivo es proporcionar al sistema funciones tróficas o de limpieza específicas. Como resultado se tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales eficiente cuyo efluente es agua de buena calidad sin la necesidad de utilizar productos químicos peligrosos como en los sistemas convencionales.

La diversidad del ecosistema producido con este enfoque permite ventajas operativas sobre tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales, puesto que el sistema utiliza la luz del sol, la biodiversidad y los procesos naturales para depurar el agua residual y subproductos beneficiosos, como agua de reutilización, plantas ornamentales y productos vegetales, para materiales de construcción, biomasa energética y alimento para animales.

Como consecuencia de esta innovadora invención, y de su impacto en la sociedad, estas máquinas vivientes han sido utilizadas para el tratamiento de aguas residuales por parte de empresas como *Coca-Cola®* y *Tyson®*, así como para aguas residuales municipales nacionales e internacionales. La tecnología aún no se está utilizando en la planta de tratamiento de aguas residuales local (Hardy, 2013).

Así mismo, se han incorporado en la construcción de edificios, alargando su durabilidad y eficiente en energía, siendo este aspecto un factor de protección ante el aumento de los precios de combustibles fósiles. El Centro *Aiken* implementó esta tecnología, y ahora es considerado como uno de los tipos de proyectos más raros en edificios ecológicos contemporáneos, ya que su modernización energética reduce el consumo de energía en un 63% con respecto a la estructura original (National Institute of Building Sciences, 2017).

Por otra parte, potencializando la función social de este sistema, aportando a la invención de tecnologías sostenibles y estéticamente agradable, *Ocean Arks Internacional* (1999), evidencia a través del estudio de los sistemas naturales y la relación del ser humano con su entorno, que la *Living Machine* es una herramienta de aprendizaje y estrategias para desarrollar pensamientos críticos acerca de cómo los individuos ejercemos alteraciones significativas en el medio natural. Dando así, partida a la inclusión de la comunidad en el manejo de estos sistemas, como en el caso de *Vermont* en el Centro de Aprendizaje de la

Escuela Primaria *Champlain*, donde se desarrolla el tema de la sostenibilidad, de la historia de la cuenca, y de la ecología con niños, y además los docentes interactúan con la comunidad para el mantenimiento y sostenimiento del sistema (Vermont Community works - SSP documentation partner, sf, citado en Velázquez, 2013).

En efecto, es más asequible el conocimiento científico para los estudiantes, como lo expresa *Ocean Arks International*, “los niños naturalmente gravitan hacia las actividades prácticas que involucran el mundo natural” (1999, p 42). Interactuar con la *Living Machine*, indiferente al nivel de formación, genera un cambio, que facilita entre otras una comprensión de los impactos de la relación sociedad-naturaleza, y de allí que se asume la responsabilidad sobre la sustentabilidad ambiental. (Wolovitz, 2000, citado en Velázquez, 2013).

En resumen, la innovación tecnológica denominada *Living Machine*, simula un ecosistema acuático, cuya importancia y utilidad están determinadas por su función y uso, puesto que permite diversificar su objeto inicial, siendo útil en diferentes campos como la ecología, la arquitectura y la educación, bien sea para tratamiento de aguas, reúso de aguas, o como herramienta para la enseñanza de las Ciencias Naturales (Velázquez, 2013)

3.3. Métodos

El prototipo *Living Machine* se instaló en el Laboratorio de tecnologías y procesos biológicos de la Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, en el mes de febrero de 2018. Se recuperó la estructura utilizada en la investigación desarrollada por Velázquez (2013), que consta de una base de 1,4 metros de profundidad, por 65 cm de ancho y 1 metro de alto, metálica con ruedas y frenos, con capacidad de carga de 450 kilos, con entrepaño para la ubicación de equipos y elementos de medición.

Los cinco contenedores son en acrílico transparente, con una capacidad total aproximada de 50 litros. Cada tanque tiene una superficie lisa de 4 mm de espesor, y con unas medidas de 33 cm de alto, por 45 cm de profundidad y 30 cm de ancho. Se implementó un sistema de circulación donde se presentan cinco tanques siguiendo los principios de diversidad y de especialidad según las funciones determinadas para las características del hábitat, conectados entre sí por mangueras, como se ilustra en la Figura 3. Conexión de Tanques.

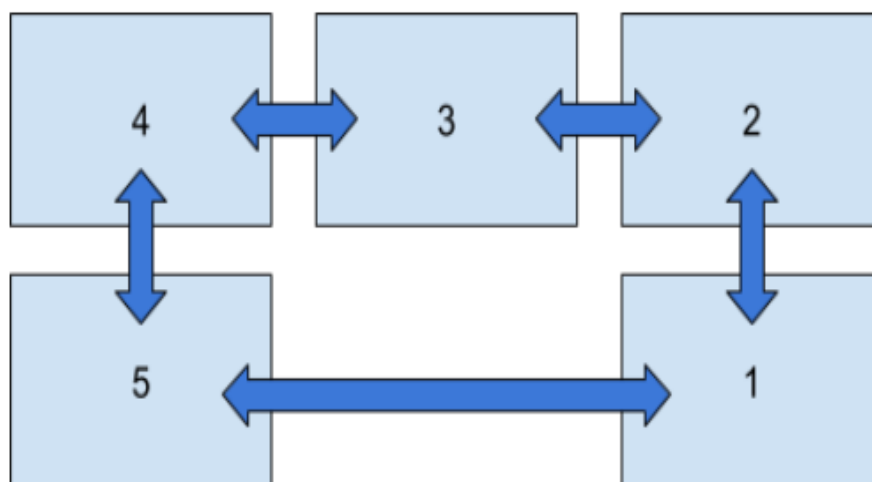


Figura 3. Conexión de Tanques.

En cada tanque se introdujo aproximadamente 9300 cm³ de sustrato, adecuado para la función a cumplir, es así como se define la composición Tabla 1. Composición por Tanque.

Tabla 1. *Composición por Tanque*

Tanque	Composición
1	Lodo Anaerobio
2	Lodo Aerobio
3	60% Lodo Aerobio + 40% Arena + Rocas pequeñas
4	50% Lodo Aerobio + 50% Arena + Rocas pequeñas y grandes
5	30% Lodo Aerobio + 70% Arena + Rocas grandes

Nota: Descripción general de la composición de los tanques que componen la *Living Machine*.

Para la estabilización del sistema se corrigieron fugas, se instalaron los aireadores para los tanques tres, cuatro y cinco. Se realizaron muestreos cada semana de parámetros como Oxígeno Disuelto, Alcalinidad y pH mediante la utilización de los Test Kits para la calidad de agua.

A la semana de la estabilización de los lodos, se introdujeron plantas como Juncos (*Eleocharis elegans*, *Eleocharis acutangula* y *Juncus effusus*), Sombrerillo (*Hydrocotyle leucocephala*), Buchón de Gallina (*Heteranthera reniformis*), Mil hojas (*Myriophyllum aquaticum*), Papiros (*Cyperus papyrus*), Ombligo de Venus (*Hydrocotyle umbellata*), Elodea (*Egeria densa*) y Buchón de Agua (*Eichhornia Crassipes*), recolectadas de diferentes humedales de la Cuenca Media del Río Otún.

Se adicionaron peces Guppys (*Poecilia reticulata*), peces Coridora Bronceada (*Corydoras aeneus*) y Pez Cola de Espada (*Xiphophorus hellerii*), mientras que la presencia de Caracoles (*Lymnaeidae* y *Physa*), se dio de forma espontánea en el sistema.

A lo largo del proceso, en el semestre académico 2018-2 se desarrolló la intervención didáctica con los estudiantes de Química Ambiental (grupo experimental), implementando guías de laboratorio (Anexo 1), para determinar las características del agua del agua del sistema *Living Machine*, donde se obtuvieron los resultados de parámetros físicos, inorgánicos, orgánicos, y biodiversidad.

Al terminar el semestre, se experimentó la eficiencia del sistema para la depuración de Agua Residual Domestica, adicionando un pulso de 5 Litros de Afluentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Domestica (PTAR) de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) (Anexo 2). Se realizó el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos, tomando muestras antes y después del pulso de contaminación. Los parámetros de DBO₅ y DQO posterior al pulso se determinó mediante la fórmula:

$$C_f = \frac{(V_{T1} \times C_{T1}) + (V_{T2} \times C_{T2}) + (V_{T3} \times C_{T3}) + (V_{T4} \times C_{T4}) + (V_{T5} \times C_{T5}) + (V_P \times C_P)}{V_t}$$

Donde,

(C_f), Concentración Final. (V_{T1}), Volumen Tanque 1. (C_{T1}), Concentración Tanque 1. (V_{T2}), Volumen Tanque 2. (C_{T2}), Concentración Tanque 2. (V_{T3}), Volumen Tanque 3. (C_{T3}), Concentración Tanque 3. (V_{T4}), Volumen Tanque 4. (C_{T4}), Concentración Tanque 4. (V_{T5}), Volumen Tanque 5. (C_{T5}), Concentración Tanque 5. (V_P), Volumen Pulso. (C_P), Concentración Pulso. (V_t), Volumen Total.

Pasadas 48 se tomaron muestra que fueron evaluadas para medir la concentración de DBO₅ y DQO por el Laboratorio de Química Ambiental, de la Facultad de Ciencias

Naturales, UTP. Así mismo, pasadas 72 horas se midieron los parámetros físicos de pH, temperatura, conductividad, alcalinidad y Oxígeno Disuelto.

Finalmente, se calculó la eficiencia del prototipo Living Machine como sistema de tratamiento de ARD, utilizando la concentración inicial calculada y el promedio de los resultados de DBO₅ y DQO obtenidos en el Laboratorio de Química Ambiental.

3.4. Resultados

3.4.1. Principios

- 1. Diversidad mineral:** Para asegurar al sistema una complejidad y diversidad de sus bases minerales, se proporcionaron minerales rocosos de la Cuenca del Río Otún con diferentes formas, tamaños y composiciones. Además, se ha complementado el sistema con algunas rocas de carbonato de calcio.
- 2. Reservas de nutrientes:** Se introdujeron al sistema lodos anaerobios, obtenidos de un sistema séptico y lodos aerobios de un humedal de la Cuenca Media del Río Otún.
- 3. Gradientes pronunciados:** A partir del diseño de este prototipo se generan ambientes diferentes que a la circular generan diversas rutas metabólicas.
- 4. Altas tasas de intercambio:** En el sistema se incorporaron dos bombas de aire, una para la aireación del tanque tres, y la otra, con dos salidas, permite la aireación de los tanques cuatro y cinco, así como la recirculación del tanque cuatro al tres.
- 5. Pulsos periódicos y aleatorios:** 5 litros de Agua Residual Doméstica de la Universidad Tecnológica de Pereira

- 6. Diseño celular y la estructura de mesocosmos:** La estructura diversa, permite que en cada tanque se desarrolle la función pertinente.
- 7. Mínimo número de subecosistemas:** Cada tanque representa un subecosistema que aporta estabilidad, resiliencia y sostenibilidad al sistema.
- 8. Las comunidades microbianas:** Mediante el diseño, se aportó la generación de ambientes diferentes, proporcionando las condiciones apropiadas para cada grupo de organismos.
- 9. Fundamentos fotosintéticos basados en energía solar:** El sistema se instaló en un lugar apropiado para el aprovechamiento de la luz solar.
- 10. La diversidad animal:** Guppys (*Poecilia reticulata*), (*Corydoras aeneus*) y Pez Cola de Espada (*Xiphophorus hellerii*). Macroinvertebrados acuáticos como *Chironomus* y *Culex* como las larvas de moscos más abundantes; algunas larvas de caracoles como *Lymaneidae* y *Physa*. Presencia de bivalvos como *Ancylidae* y otros invertebrados acuáticos que se reportaron fueron *Hydrachnidae* y *Lumbriculus*.
- 11. Intercambios biológicos más allá del mesocosmos:** Por ser un módulo piloto, el sistema no tiene conexión física con el meso y macrocosmos, sin embargo, constantemente se inoculan componentes bióticos y abióticos de diversos orígenes.
- 12. Las relaciones microcosmos, mesocosmos, y macrocosmos:** El sistema guarda proporción entre los sustratos, la producción vegetal y consumo animal y microbiano.

3.4.2. Tanques

Tanque uno: En este tanque se introdujo un fondo de lodo anaerobio obtenido de un sistema séptico. Para asegurar un ambiente anóxico no se introdujeron plantas y se disminuyó la intervención de la luz mediante el cubrimiento con plástico negro (Figura 4).



Figura 4. Reactor Anóxico.

Tanque dos: Para brindar las condiciones aerobias cerradas, se adicionó a este tanque lodo aerobio del Humedal Lisbran, ubicado en la Cuenca Media del Río Otún. La vegetación adicionada fue Milhojas (*Myriophyllum aquaticum*), Sombrerillo (*Hydrocotyle leucocephala*) y buchón de gallina (*Heteranthera reniformis*), sin embargo, sólo se adaptaron las dos primeras (Figura 5).



Figura 5. Reactor Aeróbico Cerrado.

Tanque tres: Este tanque tiene características aeróbicas, es así como se aseguró el oxígeno constante utilizando un aereador. La composición del sustrato de este tanque es 60% Lodo Aerobio, 40% Arena y rocas pequeñas obtenidas del Río Otún. Este tanque hubo existencia de Guppys (*Poecilia reticulata*), aunque no se adaptaron, así como plantas como Buche de Gallina (*Heteranthera reniformis*), Sombrerillo (*Hydrocotyle leucocephala*), Milhojas (*Myriophyllum aquaticum*) (Figura 6).



Figura 6. Reactor Aeróbico Abierto.

Tanque cuatro: La composición del sustrato de este tanque es de 50% de Lodo aerobio y 50% Arena y rocas de diversos tamaños del Río Otún, igualmente se adicionaron troncos y hojas secas. Se compone por Papiros (*Cyperus papyrus*), Ombligo de Venus (*Hydrocotyle umbellata*), Elodea (*Egeria densa*), Buche de Gallina (*Heteranthera reniformis*), Sombrerillo (*Hydrocotyle leucocephala*) y se evidencio presencia de Caracoles (Lymnaeidae y Physa) (Figura 7).



Figura 7. Clarificador.

Tanque cinco: El sustrato que prevalece en este tanque es Arena con un 70% y Lodo aerobio con 30%, así como rocas grandes y algunas pequeñas. En este tanque se tienen de igual modo Guppys y Caracoles (*Lymnaeidae* y *Physa*), las plantas presentes son buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), Elodea (*Egeria densa*), Golondrina (*Drymaria cordata*), y Juncos (*Eleocharis elegans*, *Eleocharis acutangula* y *Juncus effusus*) (Figura 8).



Figura 8. Lechos Ecológicos.

3.4.3. Caracterización de Especies Vegetales

Las plantas acuáticas o hidrófilas se caracterizan por habitar ambientes ricos en agua como lagos, estanques, charcos, pantanos, orillas de ríos, entre otros. Su presencia en esta diversidad de hábitats es fundamental para el equilibrio y el desarrollo de la vida acuática, puesto que, siendo las productoras primarias del ecosistema, brindar alimento a numerosos micros y macroorganismos, iniciando así, la cadena trófica. En consecuencia, la destrucción de la vegetación acuática altera el hábitat de todos los organismos asociados a éstas. Es por esto, es primordial el conocimiento de sus características, de sus requerimientos abióticos, para asegurar su conservación y en general del ecosistema.

Las plantas acuáticas existentes en la *Living Machine* se clasificaron según su hábitat:

- **Libre flotantes:** no arraigadas, flotan sobre la superficie del agua.

Eichhornia crassipes (Buchón o Jacinto de agua)

- **Arraigada emergente:** enraizadas en el fondo de aguas poco profundas, flotan sobre la superficie.

Heteranthera reniformis sp (Buche de gallina)

Hydrocotyle umbellata (Ombligo de Venus)

Hydrocotyle leucocephala (Sombrerillo)

- **Sumergidas arraigadas** o eventualmente arraigadas

Egeria densa (Elodea)

Myriophyllum aquaticum (Milhojas)

- **Semiacuáticas** enraizadas emergentes



Cyperus papyrus (Papiro egipcio)

Eleocharis elegans (Cebolleta)



Juncus effusus (Junco Fino)

Eleocharis acutangula (Junco)



Tabla 2. *Caracterización de especies vegetales*


Especie	Características	Fotografías
<p>Nombre común: Sombrerillo acuático.</p> <p>Nombre científico: <i>Hydrocotyle leucocephala</i>.</p> <p>Familia: <i>Apiaceae</i></p> <p>Origen: Sudamérica</p>	<p>Le gustan especialmente las aguas blandas o de dureza media, una iluminación Media-alta. No requiere sustratos especiales, siendo capaz de enraizar en troncos y piedras, también puede ser mantenida de forma flotante.</p> <p>Esta planta no requiere un sustrato nutritivo, ya que en los acuarios sus raíces no profundizan lo suficiente para atravesar la grava y llegar al sustrato nutritivo.</p>	
<p>Nombre común: Buche de gallina</p> <p>Nombre científico: <i>Heteranthera reniformis</i></p> <p>Familia: <i>Pontederiaceae</i></p> <p>Origen: Neotropical</p>	<p>Son propias de áreas pantanosas, ríos, canales, acequias, zanjas húmedas y orillas de lagunas. Puede crecer rápidamente para formar esteras densas cuando la competencia es baja, es un mal competidor con juncias y juncos.</p>	

Especie	Características	Fotografías
<p>Nombre común:</p> <p>Omblico de Venus</p> <p>Nombre científico:</p> <p><i>Hydrocotyle umbellata</i></p> <p>Familia: <i>Araliaceae</i></p> <p>Origen: América del Norte y partes de América del Sur</p>	<p>Crece en un hábitat húmedo, arenoso.</p> <p>Se puede encontrar creciendo como una especie introducida y, a veces una mala hierba nociva en otros continentes.</p>	
<p>Nombre común:</p> <p>Golondrina</p> <p>Nombre científico:</p> <p><i>Drymaria cordata</i></p> <p>Familia:</p> <p><i>Caryophyllaceae</i></p> <p>Origen: América, se encuentra desde México a Perú. También en China, India, Nepal e Indonesia</p>	<p>La especie <i>Drymaria cordata</i> se desarrollará mejor en suelos con pH ácido, neutro o alcalino. Su parte subterránea crecerá con vigor en soportes con textura arenosa, franca o arcillosa, éstos se pueden mantener generalmente húmedos.</p> <p>En cuanto a sus necesidades lumínicas, podemos aseverar que es muy exigente, sólo puede situarse en un lugar con exposición directa al sol para no repercutir negativamente en su crecimiento de forma normal.</p>	

Especie	Características	Fotografías
Nombre común: Elodea Nombre científico: <i>Egeria densa</i> Familia: <i>Hydrocharitaceae</i> Origen: Sudamérica	<p>Coloniza hábitats naturales como estanques o acuarios, llegando a formar auténticas madejas, por lo que ha sido considerada en muchos países como mala hierba o 'peste de los pantanos'.</p> <p>Puede vivir enraizada en los fondos cenagosos lacustres o flotantes libre, nutriéndose mediante la emisión profusa de raíces adventicias en aguas de muy diversa 'calidad', aguantando temperaturas extremas, lo que la ha convertido hoy día en una planta cosmopolita muy común.</p>	
	<p>Nombre común: Son plantas de crecimiento rápido que se suelen utilizar en acuarios, estanques o como planta de interior o de terraza en macetas. Pueden vivir directamente en el agua, pero prefieren un suelo rico en nutrientes y con bastante turba y prospera bien en exposiciones de semisombra o de sombra.</p>	
	<p>Nombre científico: <i>Myriophyllum aquaticum</i></p>	
	<p>Familia: <i>Haloragaceae</i></p>	
	<p>Origen: Sudamérica</p>	
		

Especie	Características	Fotografías
<p>Nombre común: Papiro, Papiro de Egipto.</p> <p>Nombre científico: <i>Cyperus papyrus</i>.</p> <p>Familia: <i>Cyperaceae</i></p> <p>Origen: África</p>	<p>Su principal valor ornamental es sin duda su atractivo y majestuoso porte. Es ideal para el uso en suelos encharcados, anegados; para estanques o junto a espejos de agua. Necesita una exposición solar de pleno sol, media sombra; las cabezuelas necesitan un mínimo de horas de sol (de 3 a 4 horas) si no se quiebran.</p> <p>No tolera el viento, se adapta a cualquier tipo de suelo, inclusive a los anegados.</p> <p>Necesita humedad constante o sumergido en agua, al borde de estanques, pantanos, etc.</p>	
<p>Nombre común: Cebolleta</p> <p>Nombre científico: <i>Eleocharis elegans</i></p> <p>Familia: <i>Cyperaceae</i></p> <p>Origen: América</p>	<p>Frecuente desde el nivel del mar hasta 2500 m de altura o más, en pantanos y a menudo en sitios arenosos a lo largo de los ríos.</p>	

Especie	Características	Fotografías
<p>Nombre común:</p> <p>Junco Fino</p> <p>Nombre científico:</p> <p><i>Juncus effusus</i></p> <p>Familia: <i>Juncacea</i></p> <p>Origen: Europa del Oeste, África del Este y del Sur, Australia, Melanesia y Nueva Zelanda</p>	<p>Se desarrolla mejor en suelos con pH ácido o neutro. Su parte subterránea crece con vigor en soportes con textura arenosa, franca, arcillosa o muy arcillosa, éstos se pueden mantener generalmente húmedos o empapados.</p> <p>En cuanto a sus necesidades lumínicas, podemos aseverar que es medianamente exigente, puede situarse en un lugar con semisombra o con exposición directa al sol indistintamente.</p>	
<p>Nombre común:</p> <p>Junco</p> <p>Nombre científico:</p> <p><i>Eleocharis acutangula</i></p> <p>Familia: <i>Cyperaceae</i></p> <p>Origen: Sudeste de Asia</p>	<p>Se encuentra en piscinas estacionales o permanentes, en pantanos y orillas de lagos</p>	



Especie	Características	Fotografías
Nombre común: Buchón o Jacinto de agua Nombre científico: <i>Eichhornia crassipes</i> Familia: <i>Pontederiaceae</i> Origen: Sudamérica	Estas plantas llegan a ser tan numerosas y crecen con tanta rapidez que se considera como plantas perjudiciales a las presas y depósitos de agua. Sus flores de un color azul-lila son grandes y vistosas se agrupan en una inflorescencia en racimo; son muy parecidas a las orquídeas. Esta planta es utilizada como ornamental en los estanques de los jardines donde crecen acompañadas de otras plantas acuáticas.	

Nota: Descripción de las especies vegetales presentes en el prototipo *Living Machine* de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Fotos propias*

3.4.4. Caracterización de Especies Animales

Las especies se caracterizaron en los laboratorios de Química Ambiental realizados con los estudiantes con la ayuda de la docente Jeymmy Milena Walteros Rodríguez MSc. Los animales identificados se observan en la Tabla 3.



Tabla 3. *Caracterización de especies animales*



Especie	Características	Fotografía
Género: <i>Chironomus</i>	<p>Las larvas pasan por cuatro estadios durante ocho días y luego se transforman en pupas, estadio en el que permanecen durante dos días para dar origen a los adultos. Estas larvas pueden respirar a las larvas cuando las concentraciones de oxígeno en el agua son muy bajas, gracias al alto contenido en hierro presente en la hemoglobina.</p>	
Género: <i>Culex</i>	<p>La larva de Culex vive una o dos semanas. Ocasionalmente, sale a la superficie para obtener oxígeno. En la fase de pupa flota sobre el agua de uno a cuatro días, luego se transforma en mosquito adulto, en esta fase permanece estacionario en la superficie del agua hasta que su cuerpo está completamente endurecido y sus alas estén secas y listas para el vuelo. El mosquito hembra luego encontrará una pareja, se alimentará de sangre y pondrá sus huevos.</p>	


Fuente: Newton, 2014

Fuente: Fundación IO, sf

Especie	Características	Fotografía
<p>Familia: <i>Lymaneidae</i></p>	<p>Conocido como caracol de agua dulce, su concha tiene vueltas bien redondeadas y con un hombro, espira piramidal o aguda.</p> <p>Su hábito es de anfibio, es decir, prefiere sustratos lodosos, en ocasiones se le encuentra en la vegetación acuática y sobre piedras; es un indicador de ambiente no o moderadamente contaminado</p>	 <p>Fuente: Velázquez, 2013</p>
<p>Género: <i>Physa</i></p>	<p>Estos pequeños caracoles, tienen conchas que son siniéstrales, la cáscara se sostiene con la aguja apuntando hacia arriba y la abertura hacia el espectador, la apertura está en el lado izquierdo. Las conchas de las especies de <i>Physa</i> tienen una abertura larga y grande, una aguja puntiaguda y ningún opérculo. Las conchas son delgadas y córneas, y bastante transparentes.</p>	 <p>Fuente: Atlas el acuario Gallego, 2010</p>
<p>Familia: <i>Ancylini</i></p>	<p>Son organismos con forma de sombrero chino, deprimida, ovalada a elíptica, traslúcida. Su hábitat es en aguas dulces, adherido a sustratos como troncos</p>	

Especie	Características	Fotografía
Familia: <i>Hydrachnidae</i>	<p>flotantes, rocas o vegetación, en los ríos se encuentra hacia las orillas, estos organismos son indicadores de ambientes no contaminados</p>	<p>Fuente: Velázquez, 2013</p>
	<p>Ácaros que viven en el agua, con frecuencia de color rojo vivo para avisar a posibles depredadores ya que son de sabor desagradable</p>	 <p>Fuente: Murray, 2008</p>
Género: <i>Lumbriculus</i>	<p>Respiran a través de su piel, carecen de pulmones o branquias, utilizan la superficie dorsal de la cola para obtener oxígeno. Por esto, en aguas poco profundas, meten la cabeza en el fango mientras elevan la cola hasta la superficie del agua, formando un ángulo recto con su cuerpo para romper la tensión superficial del agua y así favorecer el intercambio de gases entre el aire y el vaso sanguíneo dorsal pulsante que se encuentra justo debajo de la epidermis. En condiciones adversas, cuando hay poco oxígeno en el</p>	 <p>Fuente: Martín, 2015</p>

Especie	Características	Fotografía
<p>Nombre común: Guppys</p> <p>Nombre científico: <i>Poecilia reticulata</i></p> <p>Familia: <i>Poeciliidae</i></p> <p>Origen: Centroamérica</p>	<p>agua, son capaces de sobrevivir durante largos períodos de tiempo.</p> <p>El acuario tiene que tener un mínimo de 40 litros ya que son peces muy inquietos que necesitan un mínimo espacio para nadar. Es un pez ovovivíparo su temperatura óptima está entre los 22°C y 28°C, un pH ligeramente alcalino, pero no debería ser inferior a 6,5 ni superior a 8; se recomienda que la dureza del agua esté entre 10° y 20°dGH.</p>	 <p>Fuente: Cumbre Pueblos, 2018</p>
<p>Nombre común: Coridora bronceada</p> <p>Nombre científico: <i>Corydoras aeneus</i></p> <p>Familia: <i>Callichthyidae</i></p>	<p>Cumple la función de limpiar los restos de comida que no son aprovechados por el resto de los habitantes de un acuario. Las condiciones propicias para su desarrollo son agua mínima de 20 litros, con un pH ácido-neutro, de dureza media (10° gH), una temperatura de 26°C.</p>	 <p>Fuente: Fandelpez, 2011</p>

Especie	Características	Fotografía
Nombre común: Pez Cola de Espada	Son omnívoros, Se alimentan de una variedad de invertebrados, insectos, materia vegetal y algas. Requiere de plantas vivas, De 120 L o más. Bien oxigenado y con plantación periférica. pH de 6,5° a 7,5°, dureza entre 15 y 30 dH,	
Nombre científico: <i>Xiphophorus hellerii</i>		
Familia: <i>Poeciliidae</i>		
Origen: Centroamérica	Temperatura: 21-26°C vida de 3 a 5 años	Fuente: Mascotafiel, 2017

Nota: Descripción de las especies animales presentes en el prototipo *Living Machine* de la Universidad Tecnológica de Pereira.

3.4.5. Características del Agua

El análisis comparativo y descriptivo para los parámetros se desarrolló mediante el uso de diagramas, que permitieron identificar las variaciones de cada taque en relación con los parámetros medidos.

La Figura 9 muestra los niveles del pH de cada uno de los tanques; denota que todos los niveles de pH aumentaron acercando su valor a un estado alcalino.

Parámetro pH

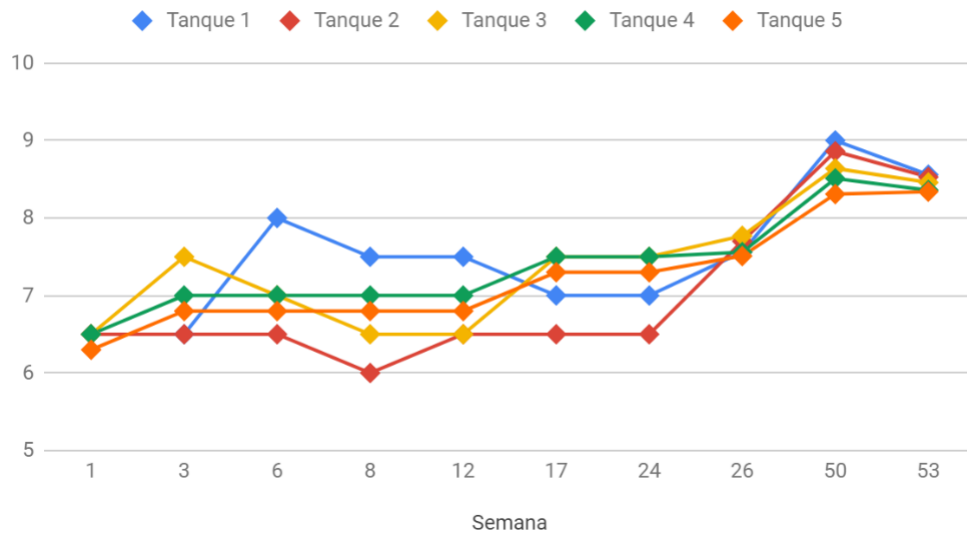


Figura 9. Niveles de pH en cada uno de los tanques que conforman al prototipo *Living Machine*.

La Figura 10 muestra las variaciones de la alcalinidad a lo largo del proceso, se evidencia el aumento de la alcalinidad, indicando la capacidad amortiguadora del sistema.

Parámetro Alcalinidad (mgCaCO₃/L)

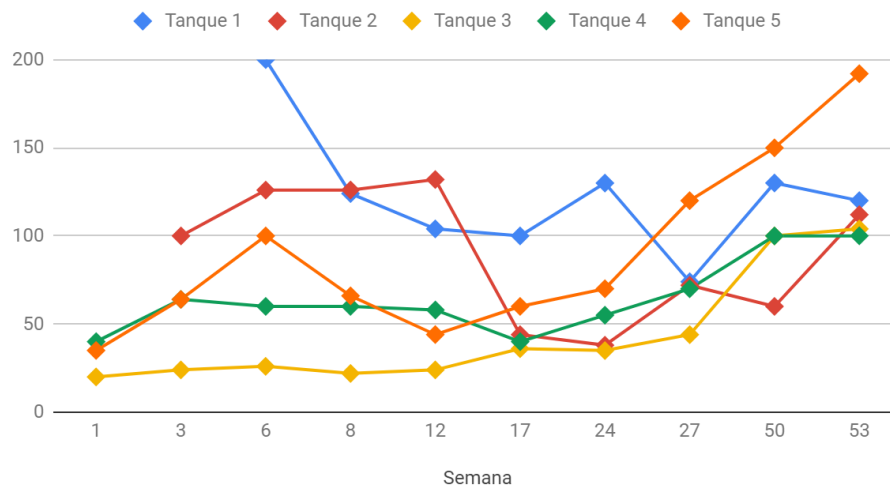


Figura 10. Transformación semanal de la Alcalinidad en el prototipo *Living Machine*.

En la Figura 11 se observa el comportamiento del Oxígeno Disuelto durante el desarrollo de la investigación. Los datos descritos indican que el agua del sistema es apta para que se

presenten procesos aerobios, donde se puede encontrar el oxígeno necesario para mantener la vida microbiana y desarrollar procesos de descomposición de materia orgánica.

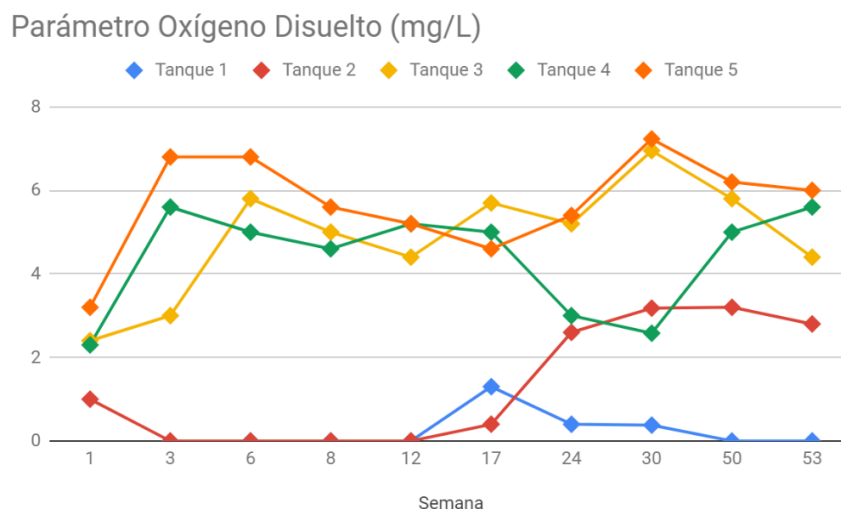


Figura 11. Variación del Oxígeno Disuelto por tanque semanalmente.

La Figura 12 denota los valores obtenidos en la medición de la conductividad. Los valores de los tanques indican un aumento de la conductividad, por la presencia de iones.

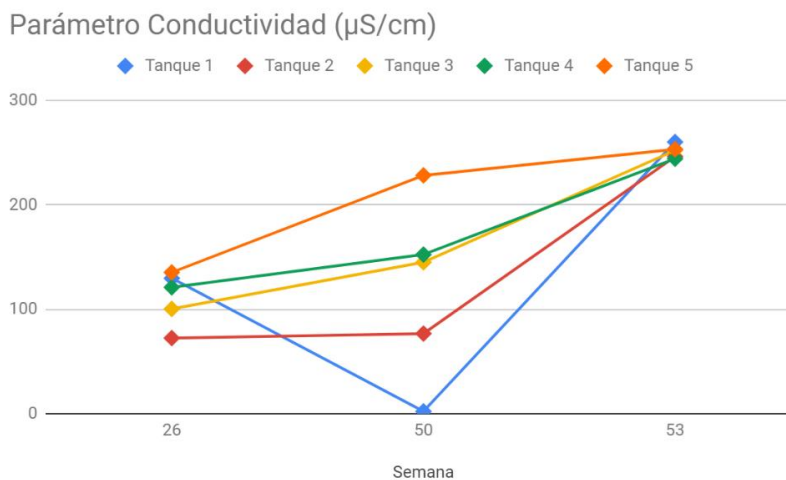


Figura 12. Conductividad por tanque en el prototipo *Living Machine*.

Por su parte, los parámetros de Acidez, Alcalinidad y Dureza, medidos con los estudiantes de Química Ambiental (Grupo Experimental), para cada uno de los tanques en la semana 27 se muestran en la Figura 13.

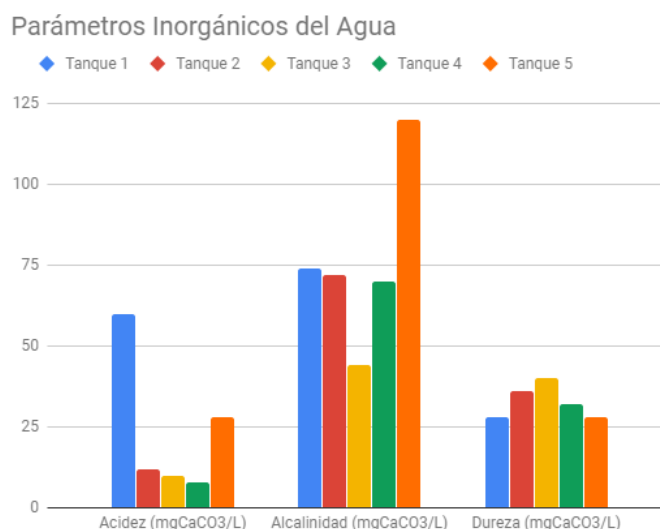


Figura 13. Comportamiento de los parámetros inorgánicos del agua tomados con los estudiantes de Química Ambiental.

En la Figura 14 se aprecia el comportamiento de DBO y DQO antes y después de la afectación del sistema con ARD. Se muestra las concentraciones comunes del sistema, muestra analizada por el Laboratorio de Química Ambiental, FCA; la concentración del pulso de contaminación, determinadas en el desarrollo de la Guía Práctica 4. Parámetros Orgánicos del Agua, en la semana 30; Así mismo la concentración del sistema contaminado, y la reducción de DBO y DQO pasadas 48 horas, muestra analizada por el Laboratorio de Química Ambiental, FCA.

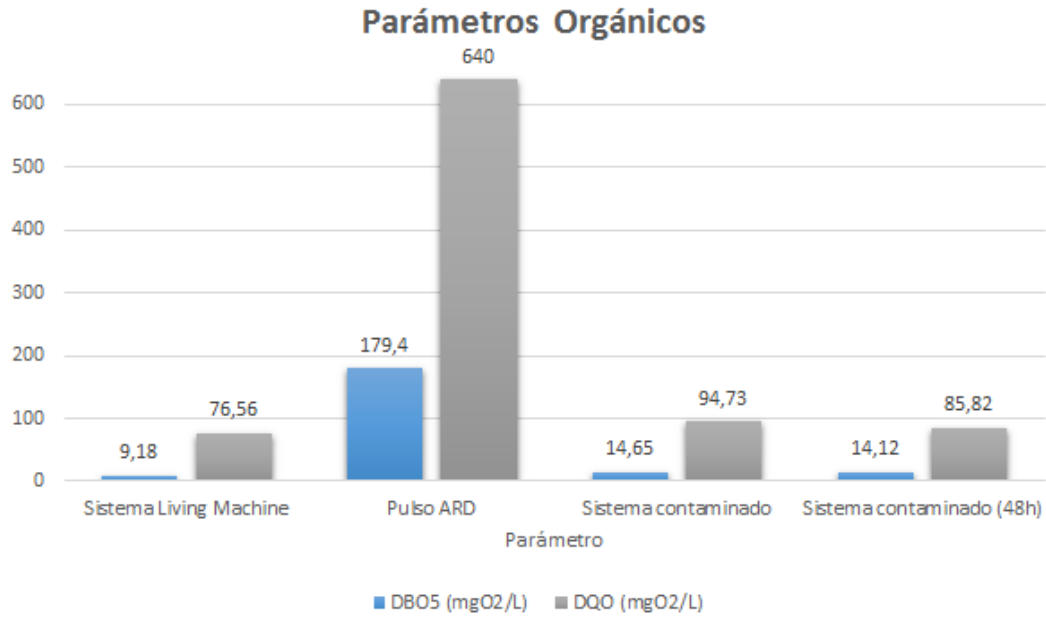


Figura 14. Comportamiento de la DBO5 y DQO en el sistema *Living Machine*.

En la Figura 15 se aprecia el comportamiento de DBO con respecto al tiempo, con esta se demuestra que posterior a las 48 horas la concentración es más baja, esto se debe a que además de la actividad microbiana, las raíces de las plantas sembradas ayudan a la depuración del agua.

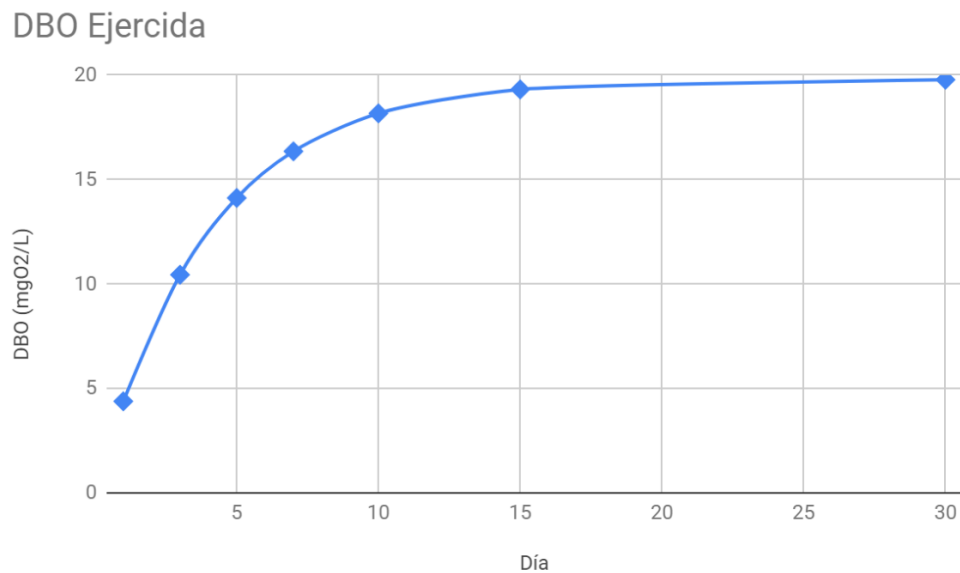


Figura 15. Transformación de la DBO ejercida con respecto al tiempo.

Finalmente, de acuerdo con los valores obtenidos para los parámetros orgánicos se obtuvo una remoción para DBO₅ de 3,62% y DQO de 9,4%. Evidenciando el importante papel que cumplen los componentes bióticos y abióticos de esta tecnología innovadora inventada por John y Nancy Todd, como alternativa económica y natural para la reducción de los impactos negativos de verter aguas residuales doméstica sin tratamiento, en los cuerpos de agua.

3.5. Discusión de Resultados

El proceso de construcción de la *Living Machine*, aunque fundamentada en los 12 principios se dio de manera experimental, ya que se desconoce a detalle el funcionamiento de estos ecosistemas. Las plantas y animales se dispusieron en el tanque elegido por conocimientos superficiales de ecología y según la adaptabilidad que mostraban. Se procuró que la intervención antrópica fuera muy poca, sin embargo, se realizaba periódicamente nivelación de volúmenes de agua, la reconexión de tubos y control de vegetación.

Los componentes bióticos y abióticos que conforman el sistema *Living Machine*, cumplen un importante papel en la descontaminación del agua. Las plantas acuáticas, que, por su fisiología y ecología, se arraigan en suelos inundados y poseen una parte sumergida y otra aérea, depuran el agua mediante la asimilación directa de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal. Además, pueden transportar oxígeno en grandes cantidades desde los tallos hacia las raíces y rizomas, contribuyendo a los procesos de descontaminación (Coleman et al., 2000).

Asociados a esta vegetación, los microorganismos presentes en las raíces aprovechan el oxígeno suministrado por las plantas para descomponer la materia orgánica, los productos resultantes de estos procesos, a su vez, son aprovechados por las plantas, facilitando su rápido

crecimiento. De esta forma, se establece una especie de simbiosis entre organismos productores, como las plantas, y organismos reductores, como las bacterias (Lahora, 2003). Al mismo tiempo, los peces desempeñan una función importante como agentes contribuyentes de nutrientes en el micro ecosistema, puesto que reciclan los nutrientes que toman de su consumo de microorganismos, plantas y animales pequeños, y a través de la excreción proveen nutrientes a las plantas y algas.

Es así como, a lo largo del proceso se evidenció que las plantas presentan un buen desarrollo de raíces, condición que permitió mayor capacidad de adaptación al medio de soporte y mayor absorción de nutrientes, expandiéndose más de lo apropiado para el tamaño del sistema; por esto, se realizó control de biomasa especialmente en plantas invasoras, es decir, plantas naturalizadas capaces de producir descendencia, a menudo en gran número, teniendo por tanto la capacidad potencial de extenderse en un amplio territorio; como Buchón o Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), Elodea (*Egeria densa*), Milhojas (*Myriophyllum aquaticum*) y Papiro Egipcio (*Cyperus papyrus*).

Por otra parte, la composición de sustratos, sedimentos y restos de vegetación en el sistema *Living Machine* cumple una importante función, ya que soportan a muchos de los organismos vivientes en el micro ecosistema, quienes realizan las transformaciones químicas y biológicas, como las plantas y los microorganismos. Lara (1999) plantea que la grava tiene la habilidad de mejorar la calidad del efluente mediante la fijación de sólidos suspendidos y formación de biopelículas bacterianas en la superficie de ella.

Asociado a esto, la circulación lenta del sistema y la presencia de plantas acuáticas favorecen el depósito de los sólidos suspendidos, estabilizando los sustratos y permitiendo el almacenamiento de contaminantes presentes en el agua residual, que no son aprovechados en

el ciclo de nutrientes. Adicionalmente, cuando las plantas cumplen su ciclo de vida, la precipitación de los restos orgánicos, como lo sugieren Shannon, Flite, Michael y Hunter (2000) constituyen una fuente de carbono necesaria para la mayoría de las reacciones químicas y biológicas desarrolladas en un humedal; A largo plazo, estos aportes de materia orgánica al sustrato incrementan el volumen de porosidad de los humedales, aumentando la capacidad de filtro.

En relación con las características del agua, es necesario el análisis de los parámetros fisicoquímicos para determinar que su calidad sea la requerida para el adecuado desarrollo y sostenibilidad de la vida en el micro ecosistema. Respecto a la composición de cada tanque varían sus propiedades organolépticas, es así como en el tanque uno, al ser anaerobio, presenta malos olores asociados al lodo y la degradación de la materia orgánica, que al darse en un medio sin oxígeno es más propenso a generar como subproducto gases como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y si en las aguas se encuentran concentraciones de sulfatos o sulfuros, pueden producir Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) con el característico olor a huevo.

De igual modo, el agua de este tanque difiere de las demás por presentar un color verdoso, como consecuencia de la presencia de Fitoplancton y algas que se agrupan en grandes comunidades y adquieren la apariencia de musgo. Estos organismos, aunque muy pequeños, unidos, son responsables de la mayoría de la fotosíntesis en los sistemas de agua dulce (Borchert, 2018); de igual modo, conforman el nivel más bajo en la cadena trófica, proporcionando alimento para protozoos y zooplancton.

En consecuencia, estas grandes cantidades de algas afectan la cantidad de oxígeno presente en el agua y la luminosidad necesaria para el proceso fotosintético, generando zonas muertas, donde a pesar de que las algas verdeazuladas producen oxígeno, cuando estas

mueren, el oxígeno se usa para depurar y descomponer sus cuerpos, absorbiendo todo el oxígeno del sistema (Borchert, 2018). Sin embargo, estas condiciones disminuyen el impacto del pulso de contaminación vertido en este punto, puesto que las Aguas Residuales Domésticas (ARD) contienen una alta concentración de sólidos suspendidos. Si se adiciona el ARD en otro tanque afectaría sus dinámicas, en pérdida de luminosidad que ocasiona la disminución de la actividad fotosintética, y por ende del oxígeno en el agua, necesario para la supervivencia de otros organismos.

El agua del tanque dos, Aerobio Cerrado, presenta un color amarilloso asociado a algas anaranjadas evidenciadas en las paredes de este tanque. En los tanques siguientes los sólidos suspendidos y por ende la turbiedad son menores, ya que como se mencionó anteriormente, la presencia de plantas ayuda a la clarificación y sedimentación de las partículas. De igual modo, la baja turbiedad presente en estos últimos tanques favorece la actividad fotosintética en plantas y algas, en consecuencia, contribuye a la adecuada oxigenación del agua.

La cantidad total de sólidos disueltos en el agua y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La presencia de iones en el sistema está determinada por la presencia de microalgas, que en su desarrollo aportan iones al ambiente (Gómez, García, Torres y González, 2015); por otra parte, tras la filtración del agua gracias a los sustratos, la mayoría de los sólidos que permanecen son iones disueltos (Lenntech, 1998).

Respecto a los datos obtenidos para el parámetro de pH, se evidencia que el agua posee una acidez natural ya que sus valores se encuentran entre el rango de 4,5 a 8,3, y por ende es apta para el desarrollo de los organismos. El aumento del pH se debe a que la producción de

algas contribuye al mantenimiento de un pH ligeramente básico (Núñez et al, 2006). Durante el proceso de fotosíntesis se consume CO_2 , esta baja en concentración de CO_2 libre ocasiona a su vez una disminución en la concentración del ion hidronio (H^+) y por ende un aumento en el pH.

La alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por eso ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. De acuerdo con los resultados iniciales de alcalinidad, ésta era baja ya que los valores se encontraban entre el rango menor a 75 mg/L CaCO_3 , es decir, aguas amortiguadoras por lo tanto aptas para el desarrollo bioquímico y la supervivencia de seres vivos. Sin embargo, estos valores aumentaron hasta alcanzar magnitudes de alcalinidad media (75 - 150 mg/L CaCO_3), y alta (>150 mg/L CaCO_3). La alcalinidad es utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa (Massol, 2011).

En consecuencia, la acidez y dureza del agua es baja (menor a 50 mg/L CaCO_3), contribuyendo al crecimiento de las plantas y el adecuado desarrollo de los animales. No obstante, los Guppys (*Poecilia reticulata*) y Coridora Bronceada (*Corydoras aeneus*) no se adaptaron ya que requieren de aguas con mayor dureza; los peces Cola de Espada (*Xiphophorus hellerii*) permanecieron vivos.

Como resultado, en el medio acuático la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) fluctúa con frecuencia debido a los cambios en la fotosíntesis y la respiración, en los datos obtenidos para los tanques tres, cuatro y cinco, son los adecuados para las formas de vida aeróbicas y la efectiva degradación de materia orgánica; las disminuciones se atribuyen al mal

funcionamiento del aireador. En los tanques uno y dos no se evidenció la presencia de caracoles (*Lymnaeidae* y *Physa*), por la ausencia de oxígeno en el agua.

La contaminación del sistema *Living Machine* permitió evaluar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, una necesidad que ha ido incrementando a lo largo del crecimiento urbano de las ciudades, ya que se ha hecho evidente que la deficiencia en el control del vertimiento de estas aguas residuales ocasiona problemas de salud pública y al medio ambiente. Como consecuencia de los vertimientos de aguas domésticas se da un crecimiento sustancial en la presencia de materia orgánica lo que lleva a que las especies aceleren su proceso metabólico en la degradación de esta materia orgánica que ha sido deposita en el cuerpo de agua, por lo tanto no se da un buen intercambio gaseoso entre el exterior y una producción de oxígeno, esto puede llevar a un crecimiento en la demanda de especies pero una disminución en la oferta de oxígeno lo que lleva a la muerte de los seres vivientes en dicho ecosistema, también se da una disminución en la degradación de la materia orgánica.

Es así como existen parámetros que permiten el estudio y caracterización de las aguas no potables, estos son DBO que indica la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, además es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y determinar el tiempo requerido para que las bacterias metabolicen la materia orgánica. Por su parte, la DQO determina la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico tanto el biodegradable y como no biodegradable. Según lo establecido por la Resolución 0631 de 2015, el límite permitido para Aguas Residuales Domésticas de los prestadores del servicio público de alcantarillado a

cuerpos de aguas superficiales, en cuanto al parámetro de DBO_5 es de 90 mg/L O_2 y con respecto al parámetro de DQO es de 180 mg/L O_2 .

De acuerdo con los resultados obtenidos en la relación DBO_5/DQO , en el afluente de Agua residual doméstica de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), con un valor de 0.38, es decir, menor a 0.6, que indica según la normatividad, que es materia orgánica no biodegradable. En consecuencia, representa un problema difícil de afrontar para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ya que esta materia orgánica no biodegradable se compone principalmente de hidrocarburos, pesticidas, productos aromáticos, etcétera. Se deduce que provienen de las actividades de aseo que se llevan a cabo en la universidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la DBO_5 y DQO posterior a la descarga, se evidencia que el sistema responde como disolvente de la carga contaminante correspondiente al ARD. Pasadas 48 horas, el sistema redujo la concentración de materia orgánica, sin embargo, en la relación DBO_5/DQO , se obtuvieron valores menores a 0.6, que indica que la presencia de materia orgánica es no biodegradable, residuos orgánicos que no son posibles de descomponer por los organismos del sistema, ya que como se mencionó la carga orgánica presente en el agua residual doméstica de la UTP no es biodegradable.

Esto, como consecuencia de la utilización de detergentes, los problemas ambientales que causan estos productos químicos están asociados a los aditivos que contienen como los blanqueadores, abrillantadores ópticos, perfumes, bactericidas y agentes espumantes. Los aditivos que contienen en mayor proporción son los sulfatos (tripolifosfato de sodio).

Los detergentes compuestos por fosfatos provocan un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos ya que aceleran el proceso de eutroficación o eutrofización de las aguas de lagos y

ríos, alterando intercambio y disolución del oxígeno entre la superficie y el aire, reduciendo la autodepuración de las corrientes de agua.

Como consecuencia de la presencia de elementos químicos nutritivos inorgánicos, las algas proliferaron, siendo evidente en el color verdoso que tomó el agua del sistema, y en mayor proporción en el tanque uno, que adquirió un color verdoso oscuro. Así mismo, con la presencia de estas sales de calcio, el agua se hidroliza generando un pH alcalino.

Finalmente, el análisis de la eficiencia del sistema indica un porcentaje de 3,62% para DBO5 y 9,4% para DQO. Se estima que el tiempo de 48 horas, no fue suficiente para evidenciar una eficiencia importante en las concentraciones de Materia Orgánica, puesto que es corto el plazo para la acción de los organismos que intervienen en la depuración del agua, a través de la cadena trófica.

Según la bibliografía, la *Living Machine* también es usada para la biorremediación de aguas con metales pesados, así como para la reducción de vectores, puesto que especies de plantas como *Mentha aquatica* producen compuestos antimicrobianos o Antibióticos que pueden matar ciertos patógenos humanos (Hung, Hawumba & Wang, 2014).

Capítulo 4: Funcionamiento del prototipo de *Living Machine* dentro del aula universitaria en los procesos de enseñanza-aprendizaje

4.1. Resumen

En el presente capítulo se pretende describir el proceso de la elaboración y diseño e implementación de las actividades didácticas por competencias que utiliza el prototipo *Living Machine* como laboratorio vivo en el aula y con un eje temático fundamentado en la asignatura de Química Ambiental, dictada dentro del Plan de Estudios de Administración Ambiental, en la Universidad Tecnológica de Pereira. Se aplicaron dos instrumentos, bajo la figura de pretest y postest, para la recolección y valoración de la información antes y después de la intervención.

Ante la situación planteada, se realizaron guías temáticas para el desarrollo de los laboratorios de Química Ambiental utilizando la *Living Machine*, así mismo, se construyeron con los estudiantes mini- *livings*. Finalmente se analizó los resultados de la intervención mediante la valoración de los pretest y postest.

4.2. Introducción

El enfoque por competencias busca satisfacer las necesidades que se presentan en el modelo educativo actual, de tal modo que mejore las capacidades de actuación de las personas frente a los problemas, planteando soluciones integrales e innovadoras acordes al contexto, donde se dé una apropiación del conocimiento y puesta en acción de las habilidades necesarias. Además, este enfoque considera al docente como un profesional de la mediación y de la dinamización del aprendizaje, y al estudiante, como un sujeto creativo de su formación integral y aprendizaje de las competencias (Tobón, Prieto y Fraile, 2010).

De acuerdo con esto, se propone una serie de actividades propuestas en diferentes guías académicas de laboratorio que fueron construidas con el fin de promover procesos de formación desde el modelo de competencias para el fortalecimiento de la capacidad argumentativa, puesto que responde a las nuevas perspectivas que inciden en la educación colombiana, dado que busca formar ciudadanos que logren solucionar problemas desde la crítica reflexiva para afectar positivamente la cotidianidad de su entorno.

Las actividades didácticas propuestas tienen como fin la enseñanza de un contenido educativo pertinente para alcanzar los objetivos del aprendizaje, esta se caracteriza por ser una continuidad interrelacionada, que se estructura progresivamente de tal manera que cada una de las actividades propuestas sean complementarias entre sí. De esta forma, les permite a los docentes realizar procesos de regulación para comprender cómo los estudiantes interpretan lo enseñado, y si es necesario o no realizar ajustes para una mejor comprensión. Asimismo, este ciclo de enseñanza- aprendizaje ayuda a los estudiantes a ser más conscientes de su proceso de aprendizaje y hallen el camino para lograr mayor autonomía.

Por otra parte, la capacidad argumentativa se basa en un componente de justificación, que implica un proceso social en el que se pretende convencer a una audiencia, no solo mediante el discurso, sino también en la producción escrita. En este sentido, el trabajo colaborativo es fundamental para consolidar dicha capacidad y para fortalecer el uso de pruebas científicas mediante el debate (Jiménez, 2010 citado en Marulanda, 2017)

En consecuencia, el presente capítulo establece el uso de nuevas herramientas educativas para la asignatura de Química Ambiental, que faciliten al estudiante la apropiación de los conceptos básicos sobre los diferentes compuestos químicos, físicos y biológicos, que se encuentran presentes en el aire, agua y suelo. Para que puedan desarrollar un pensamiento

crítico sobre las interacciones dadas entre los subsistemas que conforman a los ecosistemas naturales y artificiales.

A partir de actividades didácticas contextualizadas en la utilización práctica del prototipo *Living Machine*, que dan respuesta al cambio educativo que sugiere las nuevas tendencias pedagógicas en el aula, que permiten movilizar las competencias argumentativas en los educandos, mediante la interacción y discusión en el aula donde se aborde la realidad en su multidimensionalidad, y se realicen actividades que integran el saber ser, el saber conocer y el saber hacer, teniendo en cuenta los requerimientos específicos del entorno y los procesos de incertidumbre. Con el fin de formar individuos con autonomía, conciencia crítica y creatividad.

4.3. Métodos

Para la comprobación del funcionamiento del prototipo *Living Machine* como una herramienta tecnológica e innovadora en el aula de clases, se realizó una valoración para determinar si las actividades didácticas desarrolladas aportan de manera contundente a la asimilación del conocimiento y por ende a la mejora de la capacidad argumentativa en los estudiantes.

4.3.1. Valoración de la Intervención

Se aplicaron dos instrumentos, bajo la figura de pretest y postest, para la recolección y valoración de la información antes y después de la intervención, se utilizó la metodología de Hernández Sampieri, Fernández Collado, y Baptista Lucio (1998), empleada por Velázquez (2013). Este diseño consiste en ejecutar un cuestionario a los grupos que componen el experimento, previo y posteriormente a las actividades didácticas.

Sobre la base, de las consideraciones anteriores fueron seleccionados dos grupos de la asignatura de Química Ambiental, un grupo recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo control), a ambos se les administra el pretest y el postest. El grupo control tiene la función de ser línea base para la valoración de la intervención, a partir de éste, se determina el puntaje de cada grupo.

Para esto se seleccionaron seis preguntas de opción múltiple con única respuesta, tomadas de Marulanda (2017), del banco de preguntas de las pruebas Saber (2014) (ICFES; 2014) y Pruebas de Medio Ambiente (ICFES; 2010). Estas fueron utilizadas para determinar la capacidad argumentativa previamente al estudio y el dominio inicial de las competencias en los estudiantes de Química Ambiental en el marco general de las Ciencias Ambientales y de Educación Ambiental. Adicionalmente, se propuso tres campos de respuesta por cada pregunta, para que el evaluado generará premisas para argumentar la opción de respuesta.

En este orden de ideas, para la análisis e interpretación de los resultados se tomó como referencia la rejilla que tiene en cuenta los componentes de la argumentación de cada nivel, utilizado por Marulanda (2017) en su trabajo para obtener el título de magíster en Ciencias Ambientales (Tabla 4. Rejilla teniendo en cuenta los componentes de la argumentación de cada nivel (*Tabla 4*).

Tabla 4. *Rejilla teniendo en cuenta los componentes de la argumentación de cada nivel*

Estudiante	Nombre	No. de pregunta	Valoración	Valoración Total	Nivel
		1			
		1.1			
		1.2			
		2.3			
		2			
		2.1			
		2.2			
		2.3			
		3			
		3.1			
		3.2			
		3.3			
		4			
		4.1			
		4.2			
		4.3			
		5			
		5.1			
		5.2			
		5.3			
		6			
		6.1			
		6.2			
		6.3			

Nota: Rejilla de Valoración Pretest y Postest. Fuente: Rojas Vinasco (2016) citado de Marulanda (2017).

La rejilla anterior, se completó con la información suministrada por los pretest y postest realizados con los estudiantes de Química Ambiental, donde se evaluó la competencia de argumentación, según conclusiones, datos o pruebas, justificaciones y conocimiento básico. Posteriormente, se asignó una puntuación adoptada de la metodología de Giraldo (2017), empleando cero cuando el estudiante respondió incorrectamente o cuando no señaló ninguna

opción y uno cuando escogió la respuesta correcta. También, se establecieron puntajes para la argumentación dada por cada estudiante, de la siguiente manera:

Tres puntos: Cuando el estudiante concluye el enunciado con una explicación válida y profunda con un hecho que puede ser probado, además, cuenta con pruebas que pueden ser justificables. Es así como la justificación y conocimientos básicos pueden dar una explicación de las pruebas, teniendo en cuenta hechos antes explicados.

Dos puntos: Cuando el estudiante cuenta con una conclusión y prueba (hecho cotidiano) ya que el enunciado mostró una evidencia de forma observable.

Un punto: Cuando el estudiante contó con una conclusión, pero no redactó pruebas que permitan la justificación.

Cero puntos: Cuando el estudiante no formuló ninguna idea o explicación coherente con el tema o dejó el espacio en blanco.

Es así, como posterior a la calificación de las preguntas y sus justificaciones, se sumaron los puntajes, para obtener el nivel de argumentación en el que se ubica cada estudiante. La clasificación de los niveles fue adoptada de Cardona, Fonnegra y Osorio (2012, citada por Giraldo, 2017). Los puntajes por nivel se dividen así:

Nivel bajo: 0 a 30 puntos

Nivel medio: 31 a 45 puntos

Nivel alto: 46 a 60 puntos

4.3.2. Intervención

Para la enseñanza de las Ciencias Ambientales es fundamental una metodología activa, que estimulen la indagación, la observación y la argumentación, donde el docente posibilita

a sus estudiantes a ser generadores de su propio conocimiento. En este mismo orden y dirección, se propone una serie de actividades para alcanzar el aprendizaje, para esto fue necesario la concertación del ajuste de los contenidos y las metas de aprendizaje que se pretendían lograr con los estudiantes, con la ayuda de la docente de la asignatura de Química Ambiental Jeymmy Walteros Rodríguez.

Se plantearon actividades que estimulen el desarrollo de la capacidad argumentativa de los estudiantes, entre las que se encuentran actividades de interacción entre pares, observación y experimentación en la *Living Machine*, justificación de respuestas, análisis de situaciones cotidianas, entre otras (Anexo 2). Las actividades fueron las siguientes:

1. En la primera sesión se realizó una introducción al funcionamiento de la *Living Machine*, donde se explicó la importancia y usos del sistema, cómo se construye, los principios de diseño, las fases de tratamiento, los componentes de cada tanque y algunos ejemplos de esta tecnología aplicada en el mundo.
2. En la segunda sesión se abordó la construcción de las mini-*Living*s, basado en la metodología implementada por Marulanda (2017). En primer momento se instalaron los componentes mecánicos, que son la adecuación de tanques, mangueras y tubos de aireación. La composición fue determinada mediante los criterios de cada grupo, teniendo conocimiento de cuáles eran los principios para implementar y las fases de tratamiento. Finalmente, cada grupo de trabajo tomó las plantas y animales de la *Living Machine* para generar las redes tróficas del sistema.
3. El desarrollo de las Guías de Laboratorio (Anexo 1) fue transversal al proceso realizado con el grupo experimental en el curso de Química Ambiental 2018-2 de la Universidad Tecnológica de Pereira. Los ejes temáticos abordados fueron:

Parámetros físicos, Parámetros inorgánicos, Parámetros orgánicos del Agua y Diversidad Ecológica del sistema acuático.

4. La tercera sesión fue dedicada al mantenimiento de las mini-*Living*s. Se dirigió la labor mediante el objetivo de inspeccionar la adaptabilidad del sistema, que conservara los volúmenes de sustrato y la adecuación de plantas y animales.
5. Para la última sesión se propone trabajar la afectación de las mini-*Living*s con diferentes pulsos de contaminación, donde se tenía como objetivo evidenciar las alteraciones en el ecosistema acuático generadas por la intervención del ser humano.

4.4. Resultados

Este punto del trabajo hace referencia a los resultados obtenidos por los estudiantes de Administración Ambiental, posterior a la intervención con el prototipo *Living Machine*. En primer lugar, se calificaron los pretest y postest del grupo control y del grupo experimental (Anexo 3), donde se comparó la capacidad argumentativa de cada estudiante de acuerdo con las respuestas obtenidas de las seis preguntas extraídas. Posteriormente, estos datos fueron sintetizados en la rejilla de componentes de argumentación en cada nivel, descrita anteriormente, donde se calculó el valor total obtenido y a partir de éste se determinó el nivel de argumentación de cada estudiante.

En segundo lugar, se empleó las actividades didácticas en torno a la *Living Machine*, a lo largo de cinco meses (de agosto a octubre del 2018, y de enero a febrero del 2019).

Como resultado general se obtuvo un Nivel Bajo de argumentación, a partir de la valoración de los pretest y postest elaborados por los estudiantes del grupo control y experimental de la asignatura de Química Ambiental. Lo cual indica que no se obtuvo una

adecuada apropiación de los conocimientos básicos suministrados para el desarrollo de la competencia argumentativa en los estudiantes, y aunque se realizó la mayoría de las actividades propuestas para el fortalecimiento de esta competencia, no fue suficiente para mejorarla y dar una validación positiva en cuanto al desempeño del prototipo *Living Machine* como herramienta tecnológica e innovadora para el aprendizaje.

Pero se puede decir que este tipo de tecnologías bien implementadas pueden llegar a generar en el estudiante procesos de formación y responsabilidad ambiental, que son fundamentales para iniciar el camino de una reinversión colectiva de las formas de generar desarrollo y hacer gestión, además de mejorar la relación entre los individuos y el sistema natural en el cual desarrollan su vida.

4.4.1. Resultados Pretest

Los resultados del análisis cuantitativo descriptivo para el pretest del grupo control, el cual está conformado por nueve estudiantes (Figura 16. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo control aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira. La puntuación obtenida por cada estudiante en el cuestionario corresponde a un Nivel Bajo de argumentación, ya que el puntaje obtenido de cada uno de los estudiantes es menor a 30 puntos.

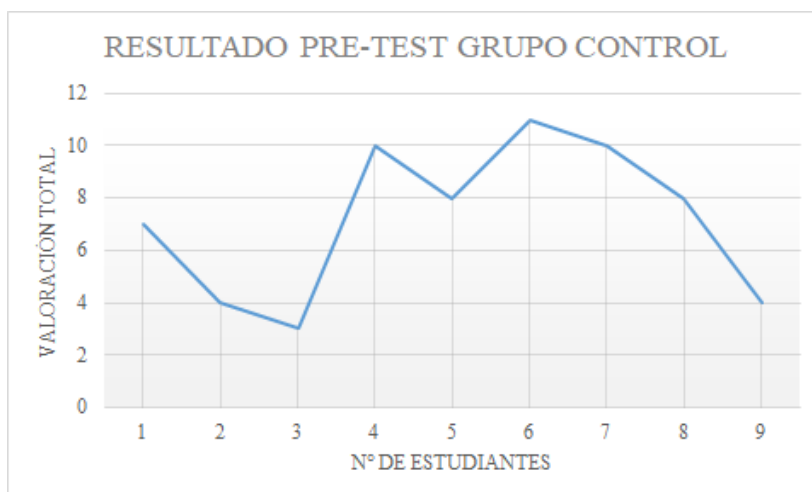


Figura 16. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo control aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira

El puntaje de mayor rango es de 11 puntos en la valoración total, lo que indica el deficiente nivel de argumentación que poseen los estudiantes. El puntaje mínimo es de 3 puntos esto en comparación con el rango anterior, refleja una diferencia en el conocimiento y argumentación de los integrantes del grupo. Además, en promedio solo el 13% de las respuestas se respondieron correctamente y con un Nivel Bajo de argumentación, en el cual está el 100% de los estudiantes del grupo control (Anexo 3).

Por otra parte, el pretest para el grupo experimental se ejecutó en los 19 estudiantes, representados en la Figura 17. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo experimental aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira, donde se presenta la puntuación obtenida por cada estudiante en el cuestionario inicial, igual que el anterior corresponde en su totalidad, o sea al 100% de los estudiantes, a un Nivel Bajo de argumentación, ya que el puntaje obtenido es menor a 30 puntos (Anexo2).

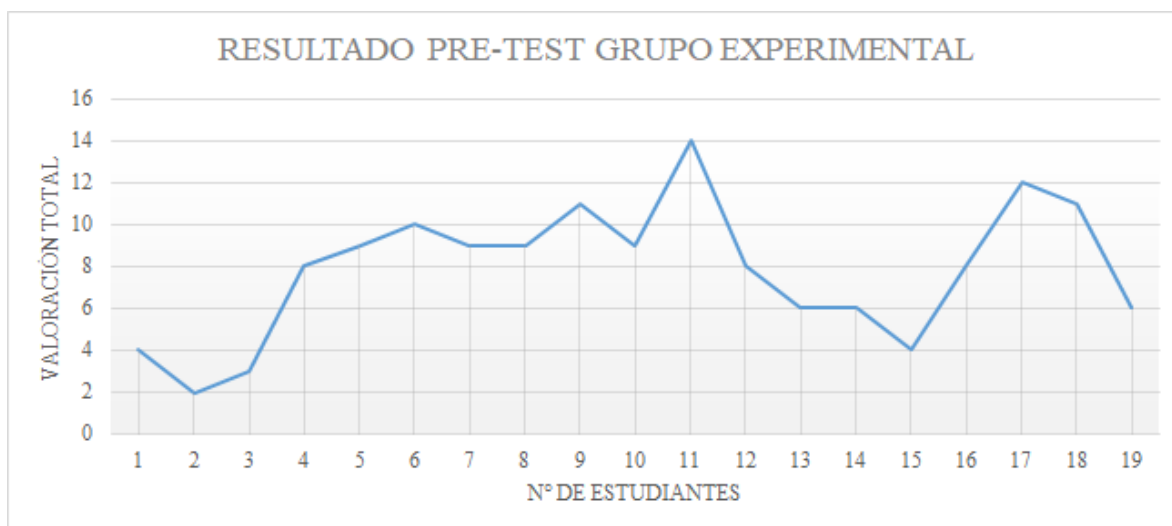


Figura 17. Valoración de los niveles de argumentación de acuerdo con el Pretest en el grupo experimental aplicado a estudiantes de la Universidad Tecnológica de Pereira

En la Figura 17 se puede observar que el mayor rango de valoración para este grupo es de 14 puntos, y el menor es de 2 puntos, esto nos indica una dispersión muy marcada respecto al nivel argumentativo, puesto que algunos integrantes del grupo presentan importantes deficiencias. Asimismo, se puede decir que solo el 7% de las respuestas son correctas y que el 100% de los educandos del grupo experimental se encontraron en el nivel argumentativo bajo.

En general al someter a ambos grupos al pretest y este ser evaluado mediante los criterios de explicación descritos anteriormente, y con ayuda de la rejilla de valoración, se determinó que la totalidad de los estudiantes valorados se ubicaron en el Nivel Bajo de argumentación el cual está por debajo de los 30 puntos, lo que demuestra el desempeño general de argumentación suministrados en el pretest, puesto que en las respuestas no se logra evidenciar los componentes que debe tener la argumentación (conclusión, datos, ejemplos, justificación y conocimiento básico) (Anexo 4), la mayoría de las opciones de justificación se encontraron

en blanco, con frases incoherentes de acuerdo al texto, o parafraseadas de las opciones de respuesta o del texto de la pregunta.

4.4.2. Resultados Posttest

Es importante que en este punto se aclaren los inconvenientes que se presentaron para realizar el posttest con ambos grupos, en consecuencia, de la suspensión del segundo semestre del 2018 en la Universidad Tecnológica de Pereira, interviniendo en el proceso con los estudiantes generando un desinterés e indiferencia, dificultando que los grupos se presentaran completos en la realización del posttest.

En el grupo control solo se presentó un estudiante, por ello no se puede dar una evaluación acertada del nivel argumentativo del grupo. Aunque si se puede indicar que este estudiante presenta un nivel argumentativo bajo, con una puntuación de 11 puntos (Anexo 3).

Por otro lado, el número de estudiantes del grupo experimental que asistieron al posttest fue de nueve estudiantes. De acuerdo a esto y teniendo en cuenta el número de estudiantes matriculados en la asignatura de Química Ambiental (19 estudiantes) (Anexo 3), se realizó cálculos de muestreo para indicar cual él era el tamaño de muestra significativa, para ello se usó un margen de error del 5% y nivel de confianza del 50%, lo que dio como resultado 13 estudiantes, que son el mínimo de personas necesarias para que la muestra sea significativa, lo que indica que los estudiantes evaluados no representan una muestra significativa para conocer el desempeño de la *Living Machine* como herramienta educativa en la asignatura de Química Ambiental, de la carrera de Administración Ambiental.

4.4.3. Intervención

Inicialmente se realizó las actividades planteadas para introducir a los estudiantes sobre el funcionamiento de la *Living Machine* (Figura 18), donde se explicó las características generales que componen al sistema.



Figura 18. Primera sesión con los estudiantes de la asignatura de Química Ambiental.

En la segunda sesión se construyeron las mini-*Living*s (Figura 19), en todo el proceso se evidencio un alto interés por parte de los estudiantes, donde cada uno dispuso de los materiales para la construcción de cada prototipo, además de mostrar inquietud por las dinámicas desarrolladas dentro del sistema. En un primer momento se instalaron los componentes mecánicos las mini-*Living*s, posteriormente se incorporaron los componentes bióticos y abióticos necesarios para el funcionamiento del prototipo (Figura 20).



Figura 19. Construcción de las mini- *Living*s con el grupo experimental de la asignatura de Química Ambiental



Figura 20. Mini-Livings elaboradas por los estudiantes del grupo experimental de Química Ambiental

Finalmente, es importante mencionar que se planteó dentro de las actividades una última sesión que permitirá a los estudiantes observar los cambios y afectaciones de las mini-Livings por los pulsos de contaminación, la cual no se pudo realizar a causa de las alteraciones que se presentaron en el semestre. Cabe resaltar que esta sesión es de gran importancia porque los estudiantes pueden evidenciar las alteraciones del ecosistema acuático por el vertimiento del Agua Residual Domestica, equivalente a los problemas ambientales que se generan por la intervención del ser humano.

4.5. Discusión de Resultados

Las Universidades Públicas en Colombia en los últimos años ha venido presentado una decadencia a causa del desfinanciamiento que padece por parte del gobierno, el cual ha tenido un impacto negativo sobre la tasa de matrícula y el acceso a la educación superior para los sectores más vulnerables de la población, asimismo, ha ampliado la posibilidad de adopción de procesos institucionales y sistemáticos en la investigación científica y tecnológica (Góngora, 2018).

Como resultado la Universidad Tecnológica de Pereira vivió una asamblea permanente de aproximadamente tres meses, que dio inicio el 10 de octubre del 2018 y se dio por finalizada el 14 de enero del 2019. Si bien estas movilizaciones son de gran importancia para mejorar las condiciones actuales de la Educación Profesional Colombiana, no son suficientes para lograr transformar el Sistema Educativo Colombiano. Ya que en el campo de las instituciones educativas no se presenta coherencia y una adecuada continuidad de los niveles jerárquicos de formación (Velázquez, 2013), como consecuencia de la deficiente calidad educativa que ha tenido el país (Gossaín, 2014; Peña, 2017), pues los procesos formativos en Colombia pocas veces ha tenido en cuenta las condiciones sociales de sus estudiantes, además, ha puesto la solución de sus problemas en proyectos y programas que se reducen a métodos, generando que las clases se vuelvan una mera repetición de temas totalmente fuera de contexto respecto a la condición de los estudiantes y su futuro (Peña, 2017).

Los problemas educativos de primaria y secundaria se ven reflejados cuando los estudiantes llegan a las universidades, obligándoles a generar programas de nivelación para llenar los vacíos de conocimiento que presentan los estudiantes, y a pesar de esto siguen siendo insuficientes para mejorar la adquisición y asimilación de conocimientos en ellos.

Lo anterior se vio reflejado con la realización del pretest, donde se pudo evidenciar que los estudiantes de cuarto de semestre de la carrera de Administración Ambiental presentan deficiencias en la capacidad argumentativa, reflejado en el Nivel Bajo de argumentación que arrojó la valoración del grupo control y del grupo experimental. Como análisis se tiene que la mayoría de los estudiantes cuentan con una conclusión, pero no cuentan con pruebas que permitan la justificación, además en varios casos, los estudiantes escogieron la respuesta correcta, pero con una justificación no coherente con la misma.

Por otro lado, se evidencia que son muy pocos los estudiantes que logran hacer uso de todos los elementos de la argumentación, además, es importante mencionar que también hay un porcentaje considerable de estudiantes que en cada pregunta no utilizaron ningún elemento argumentativo. Esto indica que el sistema educativo colombiano le da poca relevancia a la argumentación como base para la construcción de conocimiento y regulación del pensamiento, ya que en el nivel escolar no se desarrollan estas habilidades (Mercer, 2009) y son débilmente desarrolladas en la experiencia universitaria (Kuhn, 1996).

Por otro lado, con la elaboración de las actividades didácticas se buscaba desarrollar mayormente la capacidad argumentativa escrita y oral en los estudiantes, que como lo expresan Mason y Santi (1994) promueve la discusión de ideas contrarias y tiene impactos positivos en el aprendizaje, tanto a nivel escolar (Mercer, 2009), como a nivel universitario (Nussbaum y Sinatra, 2003). Pero esta se vio interrumpida por la movilización nacional, lo que trajo graves consecuencias a la presente investigación, dado que afectó la continuidad en el proceso educativo y con ello el rendimiento de los estudiantes; impidiendo que el proceso se realizara completamente y se reflejó en el postest realizado el 22 de febrero del 2019, donde los estudiantes mostraron desinterés a la hora de aplicar la evaluación y no se observó un cambio significativo en el nivel de argumentación, ya que los estudiantes valorados obtuvieron de igual manera un Nivel Bajo en la argumentación.

Finalmente, con lo anterior se comprueba la premisa de Sánchez, González y García (2013) que manifiestan la necesidad de cambiar la forma en que se enseñan las Ciencias, para poder formar ciudadanos competentes, que sean capaces de discutir sobre temas cotidianos y que hagan uso de los modelos explicativos que son propios de las Ciencias. Es así, como se resalta que el cambio debe ser a nivel estructural de la educación, donde se permita a los

educadores la implantación de herramientas que motiven y faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Conclusiones

La *Living Machine* es un sistema de fácil operación y mantenimiento, en buenas condiciones resulta ser en sí un tratamiento biológico de alta eficiencia en términos de remoción de materia orgánica. El uso de este sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas mejoró de manera considerable la calidad del agua, cumpliendo los requisitos ambientales exigidos, y puede beneficiar de manera paisajista los lugares donde se implemente.

Las plantas utilizadas, como vegetación propia de humedales naturales, desempeñan un papel fundamental en el mejoramiento de la calidad del vertimiento en la *Living Machine* y se puede acondicionar a las necesidades que pueda tener el diseñador. De la misma forma, las dinámicas del sistema varían según la variedad climática, vegetación y utilización de otros elementos particulares, lo que conlleva a pensar que el cambio de composición afecta la eficiencia del sistema, dado que son los organismos que componen al sistema son los que descomponen y digieren los contaminantes presentes en el agua.

El prototipo representa una alternativa económica y ecológica para el tratamiento de aguas residuales puesto que los elementos que requiere son naturales y de bajo costo. Además, no genera lodos en el tratamiento del agua residual como los sistemas convencionales, puesto que la *Living Machine* utiliza estos lodos como insumos para el mantenimiento de los organismos dentro del sistema. La máquina puede ser muy eficiente en el reciclaje de nutrientes, materia orgánica y agua, además puede tratar el agua según los estándares de

tratamiento terciario e incluso alcanzar estándares potables para la mayoría o todas las mediciones de acuerdo con la toxicidad de los pulsos que se estén aplicando.

Por otro lado, aunque no se pudo comprobar con exactitud el funcionamiento del prototipo de *Living Machine* dentro del aula universitaria, en el transcurso de su aplicación se pudo percibir que puede llegar a ser una herramienta de gran ayuda para los procesos de enseñanza-aprendizaje de un gran número de disciplinas, pero para lograrlo esta herramienta debe estar integrada a otros procesos educativos.

Aunque esta herramienta puede ser de gran ayuda, se debe tener claro que no es la solución para los problemas estructurales que posee la educación colombiana, que va desde el nivel escolar hasta el universitario. Algunos de estos problemas se ven reflejados en la poca capacidad argumentativa que poseen los estudiantes que hicieron parte de la presente investigación, aclarando que es una deficiencia acumulada, lo que quiere decir que en el Sistema Educativo Colombiano se le da poca relevancia a la argumentación y por ello no se fomenta.

Finalmente, es importante resaltar la importancia del enfoque por competencias para lograr un cambio en el modelo educativo actual, ya que, en su búsqueda de mejoramiento de las capacidades a partir de la actuación de las personas frente a los problemas, genera una adecuada apropiación del conocimiento y puesta en acción de las habilidades necesarias. Esto en el servicio de la educación ambiental, fomenta la adquisición y la transferencia de conocimiento acorde a las necesidades del ambiente y sus problemas.

Además, este enfoque considera al docente como un profesional de la mediación y de la dinamización del aprendizaje, y al estudiante, como un sujeto creativo de su formación integral y aprendizaje de las competencias.

Recomendaciones

En el proceso de esta investigación se presentaron dificultades para llevar a cabo en su totalidad el plan inicial, sin embargo, se logró dar a conocer esta estrategia innovadora y su potencial para la investigación aplicada y para resolución de problemas ambientales asociados con la contaminación del agua.

Se sugiere en investigaciones futuras incorporar una diversidad de actividades didácticas alrededor de la *Living Machine*, que logren cautivar a los estudiantes no sólo de Química Ambiental, sino también de otras asignaturas como Biología general y laboratorio, Ecología Aplicada, Hidroclimatología, Gestión de Tecnologías Ambientalmente Apropriadas y Educación Ambiental, ya que esta herramienta permite abordar diferentes temáticas de las ciencias ambientales. Además su fácil acceso, permite dinamizar el aula de clase y reconocer, de manera experimental el comportamiento de los ecosistemas acuáticos.

Es importante que las actividades propuestas promuevan la continua indagación, el pensamiento crítico y la interacción directa de los estudiantes con los componentes del sistema *Living Machine*, para así lograr un cambio en sus concepciones estructurales de la Gestión Ambiental, para la toma de decisiones en los territorios, como futuros Administradores Ambientales.

Referencias

- Atlas el acuario Gallego. (2010). *Physa marmorata*
- Bogoya, D. (2000). Una prueba de evaluación de competencias académicas como proyecto. En: Bogoya, D. y colaboradores. Competencias y proyecto pedagógico. Santafé de Bogotá, D. C: Unibiblos.
- Borchert, J. (2018). Productores y descomponedores de agua dulce, (Javier Benítez, Trans.). *ASU - Ask A Biologist*. Disponible en: <https://askabiologist.asu.edu/productores-agua-dulce>
- Coleman, J.; Hench, K.; Garbutt, K.; Sexstone, A.; Bissonnette, G y Skousen, J. (2000). *Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetland. Department of Biology, West Virginia University, Morgantown*. 128: 283-295.
- Coronel, J. F. y Núñez, M. B. (2015). Experiencia integradora para educación ambiental. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6 (1). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323635882007>
- De la Orden Hoz, A. (2011). El problema de las competencias en la educación general. *Bordón. Revista de pedagogía*, 63(1), 47-61.
- Fundación IO. (sf). Mosquito común
- Giraldo, S. M. (2017). La *Living Machine*: un modelo dinámico para el desarrollo de la capacidad argumentativa. (Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira).
- Gómez, S., García, J., Torres J. M. y González E. (2015). Fitorremediación en aguas dulces contaminadas. La Investigación del Grupo Especializado de Termodinámica de las

Reales Sociedades Españolas de Física y Química, Chapter: vol. 7, Publisher: Tórculo, pp.79-

93. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/280099713_Fitorremediacion_en_aguas_dulces_contaminadas

Góngora, H. F. C. (2018). Universidades públicas en Colombia: entre el desfinanciamiento y la corrupción. El Espectador. Disponible en:

<https://www.elespectador.com/opinion/universidades-publicas-en-colombia-entre-el-desfinanciamiento-y-la-corrupcion-columna-816991>

Gossaín, J. (2014). ¿Por qué es tan mala la educación en Colombia? El Tiempo. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13570938>

Hardy, S. (2013). *Applying Eco-Machine™ Technology to Local Wastewater Treatment Plant*. 2013 NCUR.

Hernández, C. A.; Rocha, A. y Verano, I. (1998). Una propuesta de evaluación por competencias. Bogotá. ICFES.

Hung, Y. T., Hawumba, J. F., & Wang, L. K. (2014). Living Machines for Bioremediation, Wastewater Treatment, and Water Conservation. In *Modern Water Resources Engineering* (pp. 681-713). Humana Press, Totowa, NJ.

ICFES, Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación. (2010). Ejemplos de Preguntas.

ICFES - Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (2014). Banco de preguntas de las pruebas Saber.

Kuhn, D. (1996). *Thinking as argument*. En L. Smith (Ed.), *Critical readings on Piaget* (pp. 120-146). London: Routledge.

Lahora, A. (2003). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales. En, Paracuellos, M (Ed): *Ecología, manejo y conservación de los humedales*. Instituto de Estudios Almerienses. 49, pp 99-112.

Lara, J. A. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Leff, E. (2000) "Pensar la complejidad ambiental", La complejidad ambiental, México, Siglo XXI y PNUMA, 314 pp.

Lenntech, B. V. (1998). TDS y conductividad eléctrica. Disponible en: <https://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica.htm>

March, A. F. (2010). La evaluación orientada al aprendizaje en un modelo de formación por competencias en la educación universitaria. REDU: Revista de Docencia Universitaria, 8(1), 11-34.

Marulanda, J. V. (2017). Intervención didáctica basada en el prototipo *Living Machine* para fomentar capacidades argumentativas macroproyecto *Living Machine*. (Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira)

Mason, L. y Santi, M. (1994). *Argumentation structure and metacognition in constructing shared knowledge at school*. Paper presentado en el *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans.

Massol, A. (2011). Parámetros fisicoquímicos: alcalinidad. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>

Mercer, N. (2009). *Developing argumentation: Lessons learned in the primary school*. En Muller-Mirza, N. y Perret-Clermont, A. (Eds.), *Argumentation and education* (pp.177-194). New York: Springer.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible. Resolución 0631 de 2015. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio de Educación (2004). Formar en Ciencias: El desafío. Disponible en: https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf3.pdf

Murray, T. (2008). *Hydrachnidae - Hydrachna sp.*

National Institute of Building Sciences. (2017). *George D. Aiken Center at The University of Vermont*. Recuperado de: <http://www.wbdg.org/additional-resources/case-studies/george-d-aiken-center-university-vermont>

UTP- Universidad Tecnológica de Pereira. (sf). Contenido programático de la asignatura de Química Ambiental, de la carrera de Administración Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales.

Newton, W. D. (2014). *Identification, Images, & Information for Insects, Spiders & Their Kin for the United States & Canada*. Iowa State University.

Núñez, M.; Cárdenas, C.; Hablich, K.; Velasquez, W.; Isea, D.; Trujillo, A. y otros. (2006). Uso de un humedal construido como pulimento para efluentes de un sistema de lagunas de estabilización. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 40(3), 327-346.

Nussbaum, E. y Sinatra, G. (2003). *Argument and conceptual engagement*. *Contemporary Educational Psychology*, 28, 384-395.

Ocean Arks International and Marc Companion (1999). *Classroom Eco Machine Owner's Manual*. Falmouth: USA. Recuperado de:

<https://ecoed.wikispaces.com/file/view/EcoMachineOwner%27sManual.pdf>

Ocean Arks International. (2018). *The Omega Center For Sustainable Living*. New York. Disponible en: <https://www.oceanarksint.org/portfolio/omega-center-for-sustainable-living/>

Pedraza, N. I. (2003). Plan de acción para formadores ambientales. Educación y resolución de conflictos ambientales.

Peña, R. R. A. (2017). Un problema más de la educación en Colombia “La calidad educativa también debe estar acompañada de un ambiente social, emocional y económico estable”. Las 2 Orillas. Disponible en: <https://www.las2orillas.co/problema-mas-la-educacion-colombia/>

Rincón, I. C. (2017). *Living Machine*, un modelo dinámico aplicado en el área de Ciencias Naturales para el desarrollo de la capacidad argumentativa en estudiantes de grado tercero de la Institución Educativa CASD. (Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira).

Sánchez, M. L; González, A. J. y García, M. A. (2013). La argumentación en la enseñanza de las ciencias. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia), vol. 9, núm. 1, enero-junio, 2013, pp. 11-28.

Shannon, R., Flite, O., Michael y Hunter, S. (2000). *Subsurface flow constructed wetlands performance at a Pennsylvania campground and conference center*. 29: 2029-2036.

Suárez, M. (2000). Las corrientes pedagógicas contemporáneas y sus implicaciones en las tareas del docente y en el desarrollo curricular. Acción pedagógica, 9(1), 42-51.

Tobón, S. T. (2006). Formación basada en competencias; pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica. Bogotá. 266 p.

Tobón, S. T. (2008). La formación basada en competencias en la educación superior: el enfoque complejo. México: Universidad Autónoma de Guadalajara, 5.

Tobón, S. T., Prieto, J. H. P., y Fraile, J. A. G. (2010). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias. México: Pearson educación.

Todd, J., Brown, E. J., & Wells, E. (2003). *Ecological design applied. Ecological Engineering*, 20(5), 421-440.

Todd, J. y Josephson, B. (1996). *The design of living technologies for waste treatment. Ecological engineering*.

Todd, N. y Todd, J. (2016). *Ocean Arks International. Pond Road Falmouth*. Disponible en: <http://www.oceanarksint.org/>

Valbuena, U. E. O. (2008). El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia) (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid). Disponible en: <https://eprints.ucm.es/7731/1/T30032.pdf>

Velázquez, A. (2013). “*Living machine*” como una herramienta práctica para la educación ambiental. (Trabajo de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

7. Anexos

Anexo 1. Guías de Laboratorio, Química Ambiental.

PRÁCTICA 2. PARÁMETROS FÍSICOS EN LA LIVING MACHINE

INTRODUCCIÓN

Los parámetros físicos suelen ser los más comunes a la hora de estimar criterios de calidad de agua y de la misma dinámica ecológica del ecosistema acuático. En esta oportunidad daremos un vistazo a las condiciones físicas que pueden ser evaluadas en la Living Machine. Recuerden que este sistema artificial y de cierta manera controlado, presenta unas dinámicas que vale la pena experimentar y que son determinantes de las condiciones de calidad del agua, por lo que ha de ser necesario reconocer algunos parámetros físicos para cada uno de los tanques que componen este sistema construido.

Uno de ellos es la temperatura del agua, que tiene importancia para el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, pues si bien ésta incrementa, se verá afectará sobre la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases, e incluso la actividad biológica podría llegar a verse afectada. Adicional a ello es importante controlarla y llevarla a 4°C en el momento de toma de muestra, ya que esto reduce las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas. Las temperaturas elevadas implican aceleración de la putrefacción de las aguas y con ello el incremento en las Demandas Bioquímicas de Oxígeno y por tanto el oxígeno disuelto disminuye.

Otros aspectos considerados como características organolépticas o determinables por los sentidos, son el color, el olor y sabor en el agua, aunque estos suelen ser pertinentes para agua potable. El color aparente está asociado con la presencia de organismos o tipo de sedimentos, mientras que el color verdadero se asocia con los sólidos en suspensión. En cuanto a los olores, suele ser producidos por sustancias volátiles (COV's) o gaseosas (H_2S , NH_3). Y el sabor, se encuentra íntimamente asociado al olor (respuesta fisiológica parecida), particularmente por la presencia de sustancias como es el caso de sales de cobre, zinc o hierro, pueden modificar el sabor, sin alterar el color del efluente. Este aspecto no se considera para las aguas residuales.

Otra variable importante y que debe ser tomada como referente porque da indicios de la cantidad de iones que contiene el agua es la conductividad, siendo está asociada con la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua. Comúnmente se determina in situ con el conductímetro y se expresa en ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Si bien la turbiedad, es un patrón que puede ser cuantificado, es importante partir del referente que se trata de una medida asociada con la presencia de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. Esta puede indicar un cambio en su calidad del agua, ya sea por presencia de organismos acuáticos o por la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos. Este parámetro es un factor ambiental importante en las aguas naturales, por lo que se considera importante en los procesos de actividad fotosintética, ya que impide la penetración de la luz. Las aguas turbias tienen, por supuesto, una actividad fotosintética más débil, lo que afecta a la producción de fitoplancton y también a la dinámica del sistema. La turbidez del agua interfiere con usos recreativos y el aspecto estético del agua. La turbidez constituye un obstáculo para la eficacia de los tratamientos de desinfección, y las partículas en suspensión pueden ocasionar gustos y olores desagradables por lo que el agua de consumo debe estar exenta de las mismas. La condición inversa es la transparencia del agua, especialmente importante en el caso de aguas potables y también en el caso de industrias que producen materiales destinados al consumo humano.

El término sólido hace referencia a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. Una de las características físicas más importantes del agua es el contenido total de sólidos, esta incluye la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

Los sólidos sedimentables están conformados por partículas más densas que el agua, que precipitan rápidamente por gravedad, cuando el agua se mantiene en reposo. Cuanta mayor es la turbulencia, mayor

es su contenido de sólidos sedimentables. En los ríos y quebradas, los valores tienen a ser mayores, a diferencia de un lago o estante donde el agua es más estática. Las unidades en que se expresa es ml/l.

Los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos, en virtud de su naturaleza coloidal y a la propiedad de suspensión de estas partículas. Estos sólidos determinan en gran parte el color aparente del agua y la profundidad a la cual penetra la luz y se encuentra directamente relacionada con la turbidez del agua. Este es uno de los parámetros referente de la contaminación del agua y tenido en cuenta para temas de normatividad.

Los sólidos suspendidos totales de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante. Este valor incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). La determinación de sólidos totales en muestras de agua por desecación es un método muy utilizado, algunas de sus aplicaciones son: determinación de sólidos y sus fracciones fijas y volátiles en muestras sólidas y semisólidas como sedimentos de río o lagos, lodos aislados en procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales y aglomeraciones de lodo en filtrado al vacío, de centrifugación u otros procesos de deshidratación de lodos.

Entre tanto, los sólidos disueltos están constituidos por las sales minerales y residuos orgánicos disueltos en el agua, por lo que su determinación está sometida a una filtración con filtro de membrana de 0,45 µm de diámetro de poro. Son un parámetro que se relaciona directamente, no solo con la conductividad, sino con el color verdadero del agua. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas; las aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

En la siguiente tabla se establecen los tipos de sólidos y la forma como se determinan respectivamente:

Sólidos	Determinación
Sólidos Totales - ST	Se secan a 103 – 105 °C. La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua.
Sólidos Sedimentables-SS	El análisis de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado.
Sólidos Suspensión Totales-SST	Los sólidos en suspensión se determinan luego por la diferencia de peso de un filtrado por el cual se hace pasar la muestra.

OBJETIVOS. Esta práctica tiene como fin conocer las técnicas para determinar el set de sólidos en laboratorio de una muestra de agua residual y analizar los resultados hallados, soportados en la legislación actual.

MATERIALES

- Equipo de filtración al vacío
- Horno para secado.
- Filtros Whatman de análisis de sólidos
- Capsulas de porcelana
- Conos Imhoff
- Desecador
- * Bomba de vacío.
- * Balanza analítica de
- * Crisol Gooch de porcelana
- * Probetas, vasos de precipitados,
- * Soportes para conos imhoff

PROCEDIMIENTO

Sólidos Totales - ST

Agitar la muestra vigorosamente y tomar un volumen conocido (V) de la misma. Para afluente se recomienda 25ml y para efluente 50ml. Llevar ese volumen a evaporación en las capsulas (Figura 1) previamente taradas y llevarlo a la estufa a 105°C. Dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar.

El contenido de Sólidos Totales se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Sólidos Totales- ST (mg/l)} = (\text{Pd}-\text{Pa})/\text{V}, \text{ donde}$$

Pd: peso residuo + cápsula, en **mg**.
Pa: peso cápsula, en **mg**.
V: volumen de muestra utilizado, en **litros**.

Sólidos Suspendidos Totales - SST

Tomar un filtro de análisis de sólidos y ponerlo en un crisol Gooch de porcelana. El conjunto se introducirá en una estufa a 105°C durante dos horas. Una vez pasadas las dos horas se sacará el filtro con el crisol de porcelana y se enfriará en el desecador. El filtro con el crisol una vez enfriado se pesará hasta conseguir un peso constante.



Figura2. Muestra servida en capsula para Solidos Totales

Agitar la muestra vigorosamente y filtrar un volumen conocido (V) de la misma. Recuerde debe hacer el procedimiento tanto para muestra de afluente (25ml), como para muestra de efluente (50ml). Ensamblar el crisol Gooch con el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 mL de agua destilada (Figura 3). Una vez filtrada la muestra se lleva el crisol con el filtro a la estufa para su secado a 103-105°C durante 1 hora. Dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante.

El contenido en sólidos en suspensión se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales - SST (mg/l)} = (\text{Pd}-\text{Pa})/\text{V}, \text{ donde}$$

Pd: peso del filtro-vidrio después de evaporar el agua, en **mg**.
Pa: peso del filtro-vidrio antes de añadir la muestra, en **mg**.
V: volumen de muestra utilizado, en **litros**.



Figura 3. Montaje para filtración de muestra para SST

Sólidos Sedimentables – S Sed

Tomar un volumen de muestra conocido (1l) tanto de agua del afluente como del efluente, homogeneizada previamente por agitación e introducir en un cono Imhoff cada una. Deje decantar la muestra durante una hora y anotar el volumen de precipitado obtenido (Figura 2). El contenido en sólidos no sedimentables se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Sólidos Sedimentables – S Sed (ml/l)} = V'/V,$$

Donde

V: volumen de muestra utilizado, en litros.

V': volumen de precipitado formado en el cono Imhoff, en ml.

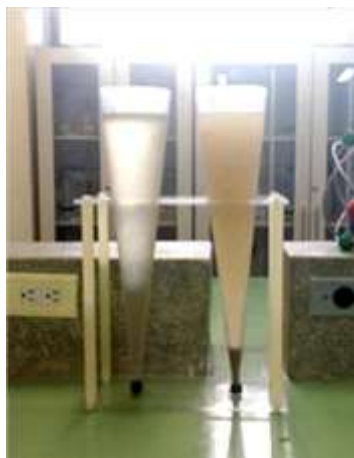


Figura 4. Montaje de conos Imhoff para Sedimentables

Cálculos. Con los datos obtenidos en el laboratorio determine:

- La concentración de Sólidos Totales, Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Sedimentables de las muestras analizadas
- De acuerdo con el tipo de muestra analizada, revisar la normatividad respectiva y explicar los resultados.
- Realizar el ejercicio de estimación de % remoción de una planta de tratamiento basados en las concentraciones de **Sólidos Suspendidos Totales** y los siguientes datos: Caudal de entrada 2,98 l/s y Caudal de salida 1,98 l/s
- Estime la Carga contaminante diaria (Cc) en Kg/d referida con los datos anteriores, asumiendo un funcionamiento de 18 horas/día de esa planta de tratamiento.

Considere la siguiente formula:

$$Cc : Q \cdot C \cdot t$$

Cc: carga contaminante diaria en Kg/día

Q: caudal promedio del efluente en l/s

C: concentración para este caso de SST en mg/l

t: tiempo de vertimiento, en horas por día (h)

Tenga presente el factor de conversión, revise de acuerdo a sus cálculos

- e. Del decreto 3930 de 2010, tenga presente el capítulo II y defina: carga contaminante, capacidad de asimilación dilución, cauce natural, cauce artificial, concentración de una sustancia, elemento o compuesto químico, lodo, muestra puntual, muestra integrada, muestra compuesta, objetivo de calidad, parámetro, punto de control de vertimiento, punto de descarga, vertimiento puntual, vertimiento no puntual, zona de mezcla. Preséntelos en este informe como anexo, pero sería muy pertinente que lo integre dentro del lenguaje técnico a partir de ahora.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS PARA LOS RESULTADOS DE LA LIVING MACHINE

1. ¿Cómo afecta la solubilidad de Oxígeno y las velocidades en el metabolismo la temperatura en cada uno de los tanques?
2. ¿Cómo es la actividad fotosintética en cada uno de los tanques según su turbidez?
3. ¿Qué tanque(s) es(son) más propenso a la producción de fitoplancton?
4. ¿Qué relación hay entre cada una de las etapas de tratamiento de la Living Machine, la eficiencia de desinfección y la turbidez?
5. ¿Qué indican los resultados obtenidos en el test de sólidos sobre la calidad química del agua?
6. ¿Cuál es la relación entre conductividad y sólidos disueltos?
7. Haga una breve descripción de las condiciones organolépticas para cada uno de los tanques de la Living Machine

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association, & American Water Works Association. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater: selected analytical methods approved and cited by the United States Environmental Protection Agency. American Public Health Association. Fernand, L.
- Cárdenas, J. 2005. Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales. Universidad Distrital de Bogotá. Facultad de Ciencias Ambientales. Disponible en: http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5
- Spiro, T. y W. Stigliani. 2004. Química medioambiental. Pearson Education S.A. España. Disponible en Biblioteca central

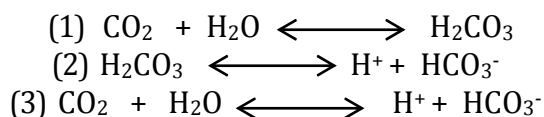
PRÁCTICA 3.COMPUUESTOS INORGÁNICOS EN EL AGUA

INTRODUCCIÓN

La acidez en una muestra de agua es por su definición, la capacidad para reaccionar con una base fuerte hasta un determinado valor de pH. En cuerpos de agua naturales, la acidez es causada principalmente por CO_2 y en algunos casos, por ácidos fuertes como H_2SO_4 o minerales tipo H_2S o por la presencia de en el agua de sales fuertes provenientes de bases débiles, tales como el NH_4 . La acidez tiene importancia desde el punto de vista industrial debido a su poder corrosivo de las sustancias ácidas presentes en el agua. En la práctica de laboratorio la técnica de titulación estará referida a la acidez carbonácea (acidez natural).

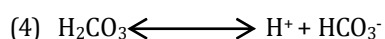
La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos ó su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno y la acidez como la capacidad de esta para neutralizar bases ó reaccionar con iones hidroxilo, la determinación de estos dos parámetros es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón del agua y su papel en la productividad.

En aguas naturales la alcalinidad es debida principalmente a la presencia de: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, los cuales se forman por la acción del CO_2 sobre los materiales básicos del suelo, la acidez se debe principalmente a la presencia de CO_2 como resultado de la oxidación de la materia orgánica, ó proveniente de la atmósfera. Ambos parámetros se encuentran estrechamente relacionados entre sí y con el pH del agua, las ecuaciones de equilibrio que describen esta relación son las siguientes:



Primera disociación del ácido carbónico:

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]}$$



Segunda disociación del ácido carbónico:

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua. De estos elementos el magnesio y el calcio constituyen los principales compuestos alcalinotérreos en aguas continentales. La dureza en el agua es el resultado de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas, donde por ejemplo, el calcio se encuentra en la naturaleza en la forma de mármol o piedra caliza (CaCO_3), yeso (CaSO_4), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$); o como en el caso del magnesio que se encuentra en la naturaleza en forma de magnesita (MgCO_3), Hexaidrita (MgSO_4) y dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

La dureza es más frecuente en aguas subterráneas, aunque algunos vertimientos de aguas residuales pueden presentar dureza. En relación con la salud la dureza no suele ser un problema para el consumo humano ni de otras especies. Sin embargo tiene efectos adversos sobre muchos usos industriales y domésticos.

OBJETIVOS

- Determinar la acidez, la alcalinidad y la dureza total en una muestra de agua problema
- Relacionar la acidez, la alcalinidad, la dureza total y el pH con procesos de contaminación y tratamiento del agua y procesos bioquímicos propios de un sistema acuático

MATERIALES Y REACTIVOS

- | | |
|----------------------------------|---|
| - Erlenmeyer de 125 ml | - Negro de ericromo |
| - Pipetas graduadas de 5 y 10 ml | - Fenofaleína |
| - Bureta | - Metil naranja |
| - Pinzas para bureta | - Solución amortiguadora pH=10 |
| - Soporte universal | - H ₂ SO ₄ 0.02 N |
| - Potenciometro | - NaOH 0.02 N |
| - EDTA 0.01 M | |

PROCEDIMIENTO

Determinación de la acidez

La acidez puede determinarse por titulación con indicador o con potenciometro. Particularmente se recomienda el método potenciométrico cuando la muestra de agua es muy coloreada o turbia. Por tanto se recomienda tomar esta consideración acorde con su tipo de muestra.

Se debe tomar 50 ml de la muestra con una pipeta graduada teniendo cuidado de no agitar la muestra, transferir este volumen a un Erlenmeyer. Se debe titular con NaOH 0.02N a intervalos de 0.5 ml, asegurándose de mezclar muy bien entre cada aplicación del ácido y midiendo el pH. Continuar la titulación con la base hasta alcanzar un pH de 8,3 y registrar el volumen consumido de la base. Realice el ejercicio tinción con fenofaleína (viraje de incoloro a morado)

Calcular las diferentes la acidez contenida en la muestra en mg/L de CaCO₃ aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez mg/L CaCO}_3 = \frac{V_b \times N \times 50.000}{VM_x}$$

Donde:

V_b = Volumen de la base gastada en ml, N= Normalidad del hidróxido de sodio en eq/L, V_m= Volumen de la muestra en ml y 50.000= Factor de conversión cuya unidad es mg CaCO₃/eq-g

Determinación de la alcalinidad

Tomar 50 ml de la muestra con una pipeta graduada teniendo cuidado de no agitar la muestra, transferir este volumen a un erlenmeyer, empezar la titulación adicionando el H₂SO₄ 0.02N a intervalos de 0.5 ml, asegurándose de mezclar muy bien entre cada aplicación del ácido y midiendo el pH. Registre el volumen y continúe la titulación hasta alcanzar un pH de 4,5. De nuevo registre el volumen de ácido consumido y determine los tipos de alcalinidades F y M. Si su muestra tiene un pH por debajo de 8,3 realice la titulación una sola vez, hasta alcanzar un pH de 4,5 y registrar el volumen. Para este caso solamente se determinará Alcalinidad M. Tenga presente realizar el ejercicio con el potenciometro o con el indicador correspondiente. Si la muestra tiene un pH mayor a 8,3 use fenofaleína, virando de morado a transparente y luego naranja de metilo hasta pH 4,5 virando de amarillo a naranja.

Calcular las diferentes formas de alcalinidad contenidas en la muestra en mg/L de CaCO₃ aplicando la ecuación y la tabla que se muestran a continuación:

$$\text{Alcalinidad mg/L CaCO}_3 = \frac{V_a \times N \times 50.000}{VM_x}$$

Donde:

Va = Volumen del ácido gastado en ml, N= Normalidad del ácido sulfúrico en eq/L, Vm= Volumen de la muestra en ml y 50.000= Factor de conversión cuya unidad es mg CaCO₃/eq

- Alcalinidad en sus diferentes formas

Caso	Relación	Condición	Alcalinidad de hidróxido (OH ⁻)	Alcalinidad de carbonatos (CO ₃ ⁼)	Alcalinidad de bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)
1	F=M	OH ⁻	M	0	0
2	F > M/2	OH ⁻ y CO ₃ ⁼	2F-M	2(M-F)	0
3	F = M/2	CO ₃ ⁼	0	2F	0
4	F < M/2	CO ₃ ⁼ y HCO ₃ ⁻	0	2F	M-2F
5	F=0	HCO ₃ ⁻	0	0	M

F: alcalinidad por fenofaleína

M: alcalinidad por metil-naranja o también alcalinidad Total

Determinación de la Dureza Total

Tomar 25 ml de muestra usando una pipeta volumétrica y diluirla con 25 ml de agua destilada, adicionar 1 a 2 ml de solución amortiguadora pH=10, luego adicionar 1 a 2 gotas de indicador negro de ericromo y titular lentamente con EDTA 0.01M hasta el viraje de color vino tinto a azul. Para calcular la dureza total:

$$\text{Dureza Total mg/L CaCO}_3 = \frac{V_{\text{EDTA}} \times M_{\text{EDTA}} \times PM_{\text{CaCO}_3} \times 1.000 \text{ mg/g}}{VM}$$

dónde: = V_{EDTA} Volumen EDTA consumido (ml) M_{EDTA} = Molaridad de EDTA PM: Peso Molecular de CaCO₃ (g/mol) y Vm= Volumen de muestra (ml)

ANÁLISIS DE RESULTADOS FUNDAMENTADOS EN LAS SIGUIENTES PREGUNTAS

1. ¿Qué es la acidez mineral?
2. ¿A qué tipo de muestra se le debe realizar esta prueba?
3. ¿Qué importancia tiene el sistema amortiguador carbonato-bicarbonato para cuerpos de agua naturales? Contemple los procesos metabólicos fundamentales de fotosíntesis - respiración celular para explicar.
4. Explique la razón por la cual la alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona del agua y así como su papel en la productividad de los ecosistemas naturales.
5. ¿Que indica la dureza en el agua natural?
6. ¿Cuál es la razón por la cual debe ser evaluada en sistemas de agua potable?
7. ¿A qué se debe que el jabón no disuelva fácilmente en aguas duras?, explique
8. Realice un análisis de los resultados (acidez, alcalinidad y dureza total) que arrojó la muestra analizada y de acuerdo al origen, explique si cumple con la norma ambiental pertinente

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association, & American Water Works Association. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater: selected analytical methods approved and

cited by the United States Environmental Protection Agency. American Public Health Association. Fernand, L.

- Cárdenas, J. (2005). Calidad de aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales. Universidad distrital Francisco José De Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá
- Romero, J. (1996). Acuiquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá. 226 p.

PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ORGÁNICOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y SUPERFICIALES

INTRODUCCIÓN

Todos los organismos y todos los ecosistemas requieren energía para su funcionamiento, para las plantas y algas su fuente energética es solar mediante el proceso de la fotosíntesis. Para algunos animales y bacterias su fuente es la cadena alimenticia, basada directamente en plantas, algas y materia orgánica. La descomposición de Materia Orgánica-MO es uno de los procesos claves en el funcionamiento de todos los ecosistemas acuáticos, es decir, este proceso es de importancia comparable a la producción primaria, de hecho, un ecosistema necesita básicamente sólo productores y descomponedores para existir indefinidamente; de allí que la descomposición completa los ciclos biogeoquímicos iniciados por los procesos fotosintéticos o quimiosintéticos.

En este sentido, en condiciones naturales los ecosistemas reciclan la materia orgánica; sin embargo, cuando un ecosistema recibe cantidades anormales de materia orgánica se da un proceso de eutrofización, donde se genera una proliferación de organismos descomponedores, lo cual aumenta notablemente el consumo de oxígeno; esto es particularmente grave en sistemas lacustres (lagos), los cuales no se oxigenan fácilmente. Los descomponedores liberan también un exceso de sus desechos metabólicos, como compuestos azufrados y CO_2 , que cambian las condiciones físico-químicas del agua y son tóxicos para muchos organismos. Esto resulta en una alta mortandad por anoxia o por intoxicación de peces, plantas e invertebrados acuáticos y los demás organismos que dependen de ellos. Además proliferan organismos patógenos, los cuales provienen de fuentes de contaminación como las domésticas, agrícolas y algunos residuos industriales, mediante desagües de alcantarillas, estiércol, acumulación de basuras orgánicas, uso excesivo de abonos en los cultivos y desechos del procesamiento de alimentos para humanos y animales.

Por consiguiente para el monitoreo de la calidad del agua se deben acudir a parámetros indicadores de materia orgánica y de oxígeno, tales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación del agua por la presencia de centros urbanos e industriales (que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable). Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno necesarios para la oxidación de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general aguas residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

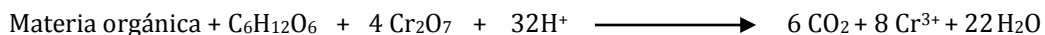
La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad de una muestra o una dilución, según sea el caso, a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días (DBO_5). Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el método Winkler o una modificación del mismo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO.

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO_5 representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su

realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables.

El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales, por lo que es necesario garantizar que durante todo el período del ensayo exista suficiente O.D. para ser utilizado por los organismos. Además, debe garantizarse que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que se deben proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, tales como N y P y eliminar cualquier sustancia tóxica en la muestra. Es también necesario que exista una población de organismos suficiente en cantidad y variedad de especies, comúnmente llamada “simiente”, durante la realización del ensayo.

Por otro lado la demanda química de oxígeno (DQO) expresa la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar las sustancias presentes en las aguas residuales, mediante un agente químico fuertemente oxidante, como el permanganato potásico (KMnO_4), utilizado en aguas limpias y el dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), utilizado en aguas residuales, ya que el uso de permanganato potásico en aguas residuales produce unos errores por defecto muy importantes. Por lo tanto, la DQO, medirá tanto la materia orgánica biodegradable por los microorganismos, como la materia orgánica no biodegradable y la materia inorgánica, oxidable por ese agente químico.



Las condiciones oxidantes en las pruebas de DQO son la digestión de la alícuota de muestra con mezcla sulfocrómica a 150°C durante dos horas en un sistema cerrado. Después de este proceso, el oxígeno consumido se determina por método volumétrico.

Recuerden, la unidad mg/L (numéricamente igual a partes por millón, o ppm, en soluciones acuosas diluidas) es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en un litro de agua. El término por ciento de saturación se utiliza comúnmente para hacer comparaciones de calidad de agua en fuentes naturales como sistemas lóticos. El por ciento de saturación es la lectura de oxígeno disuelto en mg/L dividida por el valor de oxígeno disuelto al 100% (a la misma temperatura y presión barométrica). En algunos casos, agua puede exceder el 100% de saturación y se vuelve sobresaturada por períodos cortos de tiempo.

OBJETIVOS

- Determinar la concentración de O_2 y de la DBO_5 y la DQO en muestras de aguas residuales domésticas que llegan a la PTAR de la UTP
- Interpretar los resultados obtenidos respecto al tratamiento empleado y a la normatividad ambiental vigente
- Comprender y comparar los procesos biológicos y químicos en estos parámetros orgánicos

MATERIALES Y REACTIVOS

- | | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------|
| - Tubos para digestión | - Erlenmeyer | - Pipetas graduadas |
| - Digestor | - Solución digestora | - Botellas Winkler |
| - Bureta | - Solución catalizadora | - Oxímetro |
| - Soporte universal | - Agua destilada | - Incubadora |
| - Pinza para soporte universal | - FAS | |
| | - Ferroin | |

PROCEDIMIENTO

Determinación de la concentración de oxígeno en la muestra

Las muestras para analizar proceden de la PTAR-UTP, por lo que se recomienda determinar la concentración de oxígeno por dos métodos. Uno de ellos con el oxímetro que hace la lectura directa en la muestra y el otro método a usar, será el método winkler con ayuda de un kit.

Para determinar con ayuda de la sonda, introdúzcala en la muestra y la lectura se debe hacer hasta que se estabilice (suele alumbrar azul cuando hace la lectura).

El uso del kit debe ser muy cuidadoso, ya que harán uso de una botella Winkler pequeña, donde deben colocar la muestra y adicionarle una serie de reactivos que ayudan a fijar el oxígeno y a precipitarlo (sulfato-manganeso y álcali-yoduro azida). Hay que ser muy cuidadosos de evitar que queden burbujas de aire en el interior de la botella y que se agite homogéneamente la muestra. Si la muestra contiene oxígeno se forma un precipitado de color marrón, entre más abundante, mayor es la cantidad de oxígeno en el agua. Luego se adiciona ácido sulfúrico para la disolución total del precipitado. El paso final consiste en la titulación con tiosulfato de sodio hasta que el amarillo se torne tenue, en ese momento se adiciona solución indicadora y se continúa titulando hasta que desaparezca la coloración azul.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

a. Preparación del agua de dilución.

Agregar por cada litro de agua de dilución 1 mL de cada una de las siguientes soluciones: Regulador de fosfatos pH 7.2, MgSO₄, CaCl₂ y FeCl₃. El agua de dilución se debe airear durante media hora con bombas ó 1 hora con agitador magnético.

b. Preparación de la muestra

Técnica de dilución: Preparar 2 frascos para la muestra y 1 para el blanco. Utilizando una pipeta volumétrica, añádanse cantidades adecuadas de muestra a los frascos Winkler de acuerdo a la DBO₅ esperada. Tenga presente que para la muestra del afluente se sugiere un volumen de muestra de 3 ml y para efluente de 7 ml. Para las muestras de la Living Machine tenga presente las diluciones propuestas en clase.

Llene los frascos con agua de dilución hasta la mitad y determine la concentración de oxígeno disuelto con el oxímetro, luego llene los frascos con agua de dilución hasta el tope y tápelos. Incube las muestras a 20°C ±1°C durante 5 días, al cabo de los cuales se debe medir la concentración de oxígeno final.

c. Cálculos:

$$DBO \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2)f}{P}$$

D1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20° C, mg/l.

P = fracción volumétrica de la muestra utilizada.

B1 = OD del testigo (contenido sólo agua de dilución), antes de la incubación, mg/l.

B2 = OD del testigo (contenido sólo agua de dilución), después de la incubación, mg/l.

f = proporción entre inóculo en la muestra e inóculo en el testigo (% inóculo en D1)/(% inóculo en B1)

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

a. Preparación de la mezcla para digestión

Rango Bajo (DQO entre 13,5 y 100 mg/L)

- Se mezcla en dos tubos 5 ml de muestra más 2 ml de solución digestora más 3 ml de solución catalizadora
- En otros cuatro tubos se mezcla 5 ml de agua destilada más 2 ml de solución digestora más 3 ml de solución

Rango Alto (DQO entre 70 y 700 mg/L)

- Se mezcla en dos tubos 2ml de muestra más 2 ml de solución digestora más 3 ml de solución catalizadora
- En otros cuatro tubos se mezcla 2 ml de agua destilada más 2 ml de solución digestora más 3 ml de solución

Se tapan bien los tubos y se agitan, se ponen en el digestor, el cual se ha precalentado a 150°C y se deja la digestión por dos horas, al cabo de las cuales se dejan enfriar los tubos para su posterior titulación

b. Determinación de la DQO mediante titulación (medición de la reducción del dicromato):

Con cuidado se destapa el frasco y se pone su contenido en el Erlenmeyer, se enjuaga el frasco 3 veces con agua, a continuación se adicionan 3 gotas de ferroín a la muestra, la cual se tornará de color amarillo, se empieza la titulación con FAS (Sulfato ferroso amoniacal) lentamente. Se debe tomar como punto final de la titulación el primer cambio nítido de color azul-verdoso a café-rojizo. Es importante para la titulación en ese momento porque puede volver a reaparecer el color.

Validación del reactivo FAS

Tomar los tubos preparados como blancos, pero que no fueron llevados a digestión. Titule con FAS (0,025N) sin olvidar adicionar 3 gotas de ferroín. La muestra se torna de un color amarillo a verde esmeralda y cambia a color rojizo.

c. Cálculos

Para determinar la concentración de DQO se emplean las siguientes fórmulas:

- Primero se determina la Normalidad del FAS, esto se hace reemplazando los datos en la fórmula (**Nota:** El volumen del dicromato son 2 ml y la normalidad del dicromato es 0.1N) el Volumen de FAS es el determinado en el laboratorio

$$NFAS = \frac{\text{Volumen del Dicromato} \times \text{Normalidad del Dicromato}}{\text{Volumen del FAS}}$$

- A continuación, se determina la concentración de DQO en mg de O₂/L, esto se hace reemplazando los datos en la fórmula:

$$DQO = \frac{(V_{\text{Blanco}} - V_{\text{Muestra}}) \times N_{\text{del FAS}} \times 8000}{\text{Volumen de la muestra}}$$

NOTA: Los residuos de la titulación deben ser recolectados en un recipiente para su posterior disposición.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué importancia tiene la presencia de oxígeno disuelto OD en las muestras de agua residual de la PTAR?
2. ¿Por qué es necesario expresar la presencia de oxígeno en el agua en forma de porcentaje de saturación? Explique
3. Mencione algunos puntos a tener en cuenta en la determinación de oxígeno por el método winkler
4. ¿Qué información proporcionan los datos de DQO y DBO₅?
5. ¿Cuáles son las limitaciones en el ensayo para la determinación de DBO₅?
6. ¿Qué tipo de sustancias químicas pueden inhibir el crecimiento bacteriano y con ello entorpecer el análisis de DBO?
7. ¿Cuál es la diferencia entre la DBO carbonácea y la DBO nitrogenacea?
8. ¿Cómo es el proceso de depuración de contaminantes por un ecosistema, qué factores influyen?
9. ¿Cómo es la dinámica de depuración de los contaminantes en la Living Machine?
10. ¿Cómo se puede justificar el uso de parámetros como la DQO y el OD en el conocimiento de la calidad de agua, la depuración de contaminantes en la Living Machine?
 - a. Con base en los resultados obtenidos determine y discuta:
 - a. La concentración de OD en mg/l para el afluente y el efluente de la PTAR-UTP
 - b. El porcentaje de eficiencia de la PTARD de la Universidad Tecnológica de Pereira para los dos parámetros
 - c. ¿La PTARD de la Universidad Tecnológica de Pereira cumple con la normatividad?
 - d. Con los datos de Caudal tomados en la práctica 1 determine la carga contaminante (W) del efluente en Kg/día para estos dos parámetros
 - e. ¿Cuáles pueden ser los impactos sobre el cuerpo de agua que recibe el efluente de la planta?
 - f. Determinar la relación DBO₅/DQO

BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, APWF. Métodos normalizados para análisis de aguas y aguas residuales. 17 edition. American Public Health Association Inc. New York 1992.

Metcalf & Eddy. 1996 "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Utilización. Vol. 1 Ed. Mc Graw Hill. México 250 p.

Romero, JA. 1996. Acuiquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá. Páginas 226.

Sierra, C.A. 2011. Calidad de Agua. Evaluación y Diagnóstico. Ediciones de la U. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia. 405 p.

PRÁCTICA 5. DIVERSIDAD ECOLÓGICA DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

INTRODUCCIÓN

El término «biodiversidad» refleja la cantidad, la variedad y la variabilidad de los organismos vivos, abarcando la forma en que esta diversidad difiere según el lugar que habitan y su variación a lo largo del tiempo. Para realizar el seguimiento de determinados aspectos de la biodiversidad, existen indicadores como el número de especies de un área determinada, el número de individuos por especies, entre otros.

La biodiversidad se encuentra en todas partes, tanto en tierra como en el agua. Incluye a todos los organismos, desde las bacterias microscópicas hasta las más complejas plantas y animales. Los inventarios actuales de especies, aunque son útiles, siguen estando incompletos y no bastan para formarse una idea precisa de la amplitud y la distribución de todos los componentes de la biodiversidad.

La biodiversidad desempeña un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas y en los numerosos servicios que proporcionan. Entre estos, se encuentran el ciclo de nutrientes y el ciclo del agua, la formación y retención del suelo, la resistencia a las especies invasoras, la polinización de las plantas, la regulación del clima, el control de las plagas y la contaminación. En el caso de los servicios de los ecosistemas, lo que importa es no sólo el número de especies presentes sino también qué especies son abundantes.

Los ecosistemas y la biodiversidad son el soporte vital de la Tierra. Los humedales filtran los contaminantes del agua; las plantas y árboles reducen el calentamiento global absorbiendo el carbono, los microorganismos descomponen la materia orgánica y fertilizan el suelo, para proveer los alimentos. La biodiversidad ayuda a polinizar las flores y cultivos y también provee comida y medicinas para nuestro bienestar. Sin ella no seríamos capaces de sobrevivir.

A pesar de la importancia de la biodiversidad para los seres humanos, actualmente se está generando un grave conflicto el cual tiene como efecto la extinción de las especies vegetales, y con ello de especies animales ya que la primera trae consigo la alteración o extinción de la cadena trófica superior y por lo tanto de todos los animales que dependen de la especie vegetal que se extingue

Dentro de las causas que están amenazando directamente a las especies que habitan el territorio colombiano, tenemos: distribución restringida de las especies, pesca comercial, alteración de hábitats, caza, fragmentación de las poblaciones, actividades agrícolas, deforestación, actividades ganaderas, comercio-cacería, extracción maderera, cultivos ilícitos, contaminación, minería, destrucción de humedales, erosión, especies introducidas, animales domésticos, desastres naturales, cambio climático, pesquería industrial de altamar, desconocimiento de la especie, comercio internacional de pieles.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Describa la importancia de los organismos presentes en cada tanque
2. ¿Cómo se relacionan entre sí estos organismos?
3. ¿Qué función cumplen los organismos acuáticos en la red trófica?
4. ¿Qué organismos pueden ser considerados bioindicadores de la calidad de agua de la Living Machine?

BIBLIOGRAFÍA

Andrade M. G. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 35(137), 491-507.

Ecologistas en Acción (2006). Biodiversidad: ¿qué es, dónde se encuentra y por qué es importante?

Naturaleza y Cultura Internacional.(Consultado: 06/02/2019) ¿Por qué conservar los ecosistemas y la biodiversidad?

Anexo 2. Evidencia Fotográfica



Estado inicial *Living Machine*



Adaptación plantas



Algas presentes tanques 1 y 2

Figura 21. Proceso construcción y adaptabilidad *Living Machine*



Figura 22. Crecimiento Vegetación



Figura 23. Animales presentes



Control de vegetación



Adición pulso contaminante

Figura 25. Intervención Antrópica



Figura 26. Interacción de los estudiantes con la Living Machine



Figura 27. Desarrollo de Laboratorios

Anexo 3. Valoración Pretest y Postest

Tabla 5. Consolidado Pretest Grupo Experimental

Estudiante G3	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Total	Nivel Argumentativo
1	2	0	0	0	0	2	4	Bajo
2	2	0	0	0	0	0	2	Bajo
3	3	0	0	0	0	0	3	Bajo
4	1	2	0	0	4	1	8	Bajo
5	2	2	2	0	3	0	9	Bajo
6	3	3	2	0	0	2	10	Bajo
7	2	0	0	0	4	3	9	Bajo
8	4	3	0	0	0	2	9	Bajo
9	4	4	3	0	0	0	11	Bajo
10	2	3	0	0	2	2	9	Bajo
11	4	4	2	0	0	4	14	Bajo
12	2	2	2	0	0	2	8	Bajo
13	2	0	0	0	2	2	6	Bajo
14	2	2	0	0	2	0	6	Bajo
15	2	0	0	0	2	0	4	Bajo
16	2	0	2	0	2	2	8	Bajo
17	4	2	2	0	2	2	12	Bajo
18	3	3	3	0	0	2	11	Bajo
19	4	0	0	0	0	2	6	Bajo
Promedio	2,63	1,58	0,95	0,00	1,21	1,47	7,84	
Fracción	14%	8%	5%	0%	6%	8%	7%	

Nota: Consolidado de la calificación de la rejilla de valoración de cada uno de los pretest realizados

Tabla 6. Consolidado Pretest Grupo Control

Estudiante G. Control	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Total	Nivel Argumentativo
1	4	0	1	0	1	1	7	Bajo
2	2	2	0	0	0	0	4	Bajo
3	2	0	0	0	1	0	3	Bajo
4	3	4	0	3	0	0	10	Bajo
5	2	2	0	0	2	2	8	Bajo
6	2	2	3	0	2	2	11	Bajo
7	2	2	2	0	2	2	10	Bajo
8	2	0	2	0	2	2	8	Bajo
9	2	2	0	0	0	0	4	Bajo
Promedio	2,33	1,56	0,89	0,33	1,11	1,00	7,22	
Fracción	26%	17%	10%	4%	12%	11%	13%	

Nota: Consolidado de la calificación de la rejilla de valoración de cada uno de los pretest realizados por el grupo control

Tabla 7. Número de estudiantes y porcentaje por nivel de argumentación, Pretest

Grupo Experimental			Grupo Control		
Nivel de Argumentación	Estudiantes Pretest	Porcentaje	Nivel de Argumentación	Estudiantes Pretest	Porcentaje
Bajo	19	100%	Bajo	9	100%
Medio	0	0	Medio	0	0
Alto	0	0	Alto	0	0

Nota: Porcentaje y número de estudiantes de acuerdo con el nivel de argumentación

Tabla 8. Consolidado Posttest Grupo Experimental

Estudiante G. Experimental	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Total	Nivel Argumentativo
1	5	4	3	0	4	3	19	Bajo
2	4	4	4	0	4	4	20	Bajo
3	6	6	5	0	4	4	25	Bajo
4	4	4	5	0	4	4	21	Bajo
5	3	2	0	0	3	2	10	Bajo
6	3	3	2	0	0	2	10	Bajo
7	2	0	0	0	4	3	9	Bajo
8	4	3	0	0	0	2	9	Bajo
9	4	4	3	0	0	0	11	Bajo
Promedio	3,9	3,3	2,4	0,0	2,6	2,7	14,9	
Fracción	43%	37%	27%	0%	28%	30%	28%	

Nota: Consolidado de la calificación de la rejilla de valoración de cada uno de los posttest realizados por el grupo experimental

Anexo 4. Evidencia argumentación estudiantes

Estudiante No. 8

Química ambiental | Agua

PyREGUNTAS PROPUESTAS

1. Unos investigadores quieren saber si el agua de la llave está contaminada por dos tipos de contaminantes (X y W). Los investigadores únicamente disponen de un método que permite medir la cantidad de contaminante X, pero saben que existe una reacción química mediante la cual pueden convertir todo el contaminante W en el contaminante X. Teniendo en cuenta esta información, si se quiere saber cuál es el contenido de contaminantes X y W, por separado, en una muestra de agua de la llave, ¿cuál sería el procedimiento adecuado?

A.

```

    graph LR
      A1[1. Llevar a cabo la reacción que convierte todo el contaminante X en el contaminante W.] --> A2[2. Medir el contenido de contaminante W con el método disponible, ya que esta medición corresponde a la medición del contenido de ambos contaminantes.]
  
```

B.

```

    graph LR
      B1[1. Medir el contenido de contaminante X con el método disponible y separarlo de la muestra.] --> B2[2. Llevar a cabo la reacción que convierte todo el contaminante W en el contaminante X.] --> B3[3. Volver a medir el contenido de contaminante X, ya que esta última medición corresponderá a la medición del contenido de contaminante W.]
  
```

C.

```

    graph LR
      C1[1. Llevar a cabo la reacción que convierte todo el contaminante W en el contaminante X.] --> C2[2. Medir el contenido de contaminante X con el método disponible, ya que esta medición corresponde a la medición del contenido de ambos contaminantes.]
  
```

D.

```

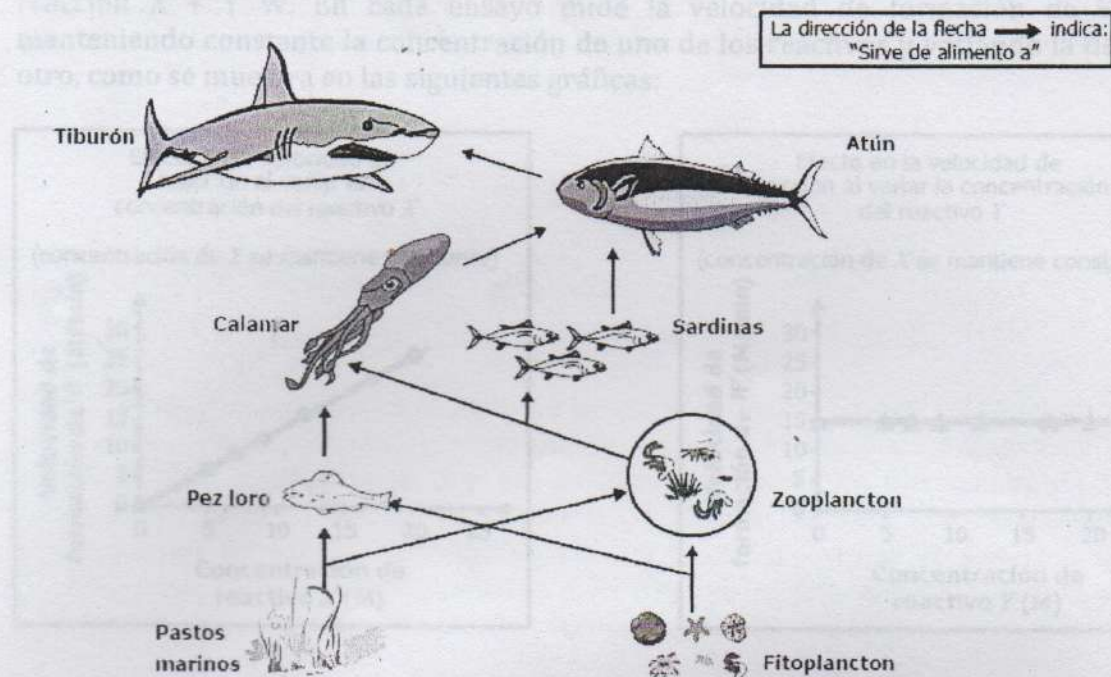
    graph LR
      D1[1. Medir el contenido de contaminante W con el método disponible y separarlo de la muestra.] --> D2[2. Llevar a cabo la reacción que convierte todo el contaminante X en el contaminante W.] --> D3[3. Volver a medir el contenido de contaminante W, ya que esta última medición corresponderá a la medición del contenido de contaminante X.]
  
```

Razón de su respuesta 1: se mediría la cantidad de contaminante X. Para tener el primer dato que se requiere para llegar al segundo dato.

Razón de su respuesta 2: se convierte el contaminante W en contaminante X efectuando la reacción química.

Razón de su respuesta 3: estando ya convertido gracias a la reacción en contaminante X se haría la medición del contaminante X obteniendo y luego ya se podría saber las cantidades de cada uno.

2. El siguiente corresponde a un modelo de lo que sería una red trófica marina.



La pesca indiscriminada de varias especies de atún ha llevado a las organizaciones ambientales a implementar estrategias para impedir su extinción. Con base en la información anterior, ¿qué le sucedería al ecosistema marino, a mediano plazo, si se extingue el atún?

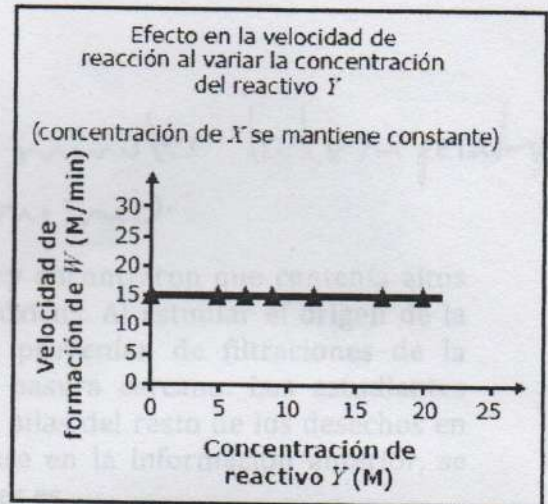
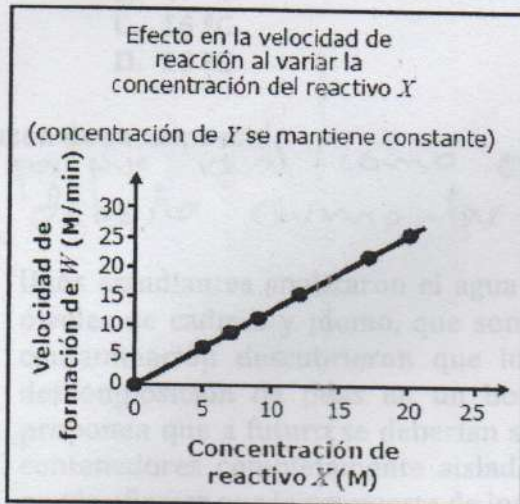
- A.** Disminuirían las poblaciones de pez loro debido al aumento de su principal depredador.
- B.** Aumentarían las poblaciones de tiburones, porque podrán alimentarse de todos los otros niveles tróficos.
- C.** Aumentaría la cantidad de zooplancton, porque disminuirían la presión de sus depredadores.
- D.** Disminuiría la abundancia de productores, porque aumentarían los consumidores primarios.

Razón de su respuesta 1: Si porque al desaparecer el atún que se alimentaba de pulpos estos aumentarían su cantidad y se afectarían los peces loro

Razón de su respuesta 2:

Razón de su respuesta 3:

3. Una estudiante realiza diferentes ensayos con el objetivo de determinar el efecto de la concentración de los reactivos sobre la velocidad de formación de W en la reacción $X + Y \rightarrow W$. En cada ensayo mide la velocidad de formación de W manteniendo constante la concentración de uno de los reactivos y variando la del otro, como se muestra en las siguientes gráficas:



Con base en estos resultados se puede concluir que el cambio en la velocidad de formación de W

- A. no depende de la concentración de los reactivos.
- ☒ B. depende de la concentración de ambos reactivos.
- C. depende solamente de la concentración de X.
- D. depende solamente de la concentración de Y.

Razón de su respuesta 1:

por que se necesita la union de varios reactivos como en este caso de X + Y para poder observar con que velocidad se crea W.

Razón de su respuesta 2:

Razón de su respuesta 3:

4. Una estudiante calentó en una estufa, durante un minuto, un litro de agua que inicialmente estaba a 15 °C. La temperatura final del agua fue 17 °C. Si ahora calienta dos litros de agua que inicialmente están a 15 °C, en la misma estufa durante un minuto, se espera que la temperatura final de los dos litros de agua sea
- A. 19 °C.
 - ☒ B. 17 °C.
 - C. 16 °C.
 - D. 15 °C.

Razón de su respuesta

por que igual como es un minuto la temperatura debería aumentar lo mismo

5. Unos estudiantes analizaron el agua de un río y encontraron que contenía altos niveles de cadmio y plomo, que son metales tóxicos. Al estudiar el origen de la contaminación descubrieron que los metales provenían de filtraciones de la descomposición de pilas en un botadero de basura cercano. Los estudiantes proponen que a futuro se deberían separar las pilas del resto de los desechos en contenedores completamente aislados. Con base en la información anterior, se puede afirmar que la propuesta de los estudiantes es
- ☒ A. inapropiada, porque es mejor desarmar las pilas y luego desecharlas.
 - B. apropiada, porque se evitaría la presencia de metales pesados en el agua.
 - C. apropiada, porque luego se podrían reutilizar las pilas desechadas.
 - D. inapropiada, porque es mejor quemarlas ya que no entrarían en contacto con el agua.

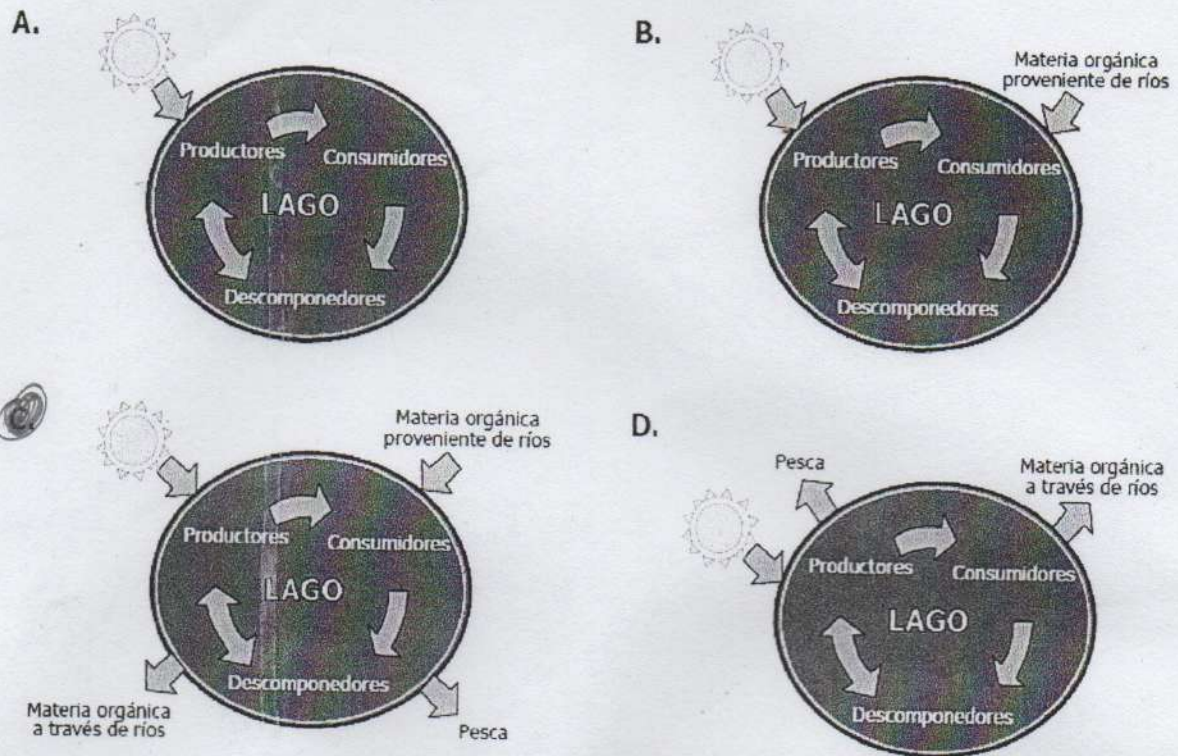
Razón de su respuesta 1:

por que es mejor separarlos y luego desarmarlos para luego separar todos los metales y darlos una buena disposición

Razón de su respuesta 2:

Razón de su respuesta 3:

6. Los ecosistemas se consideran sistemas abiertos porque en su mantenimiento es fundamental el flujo de materia y energía que intercambian de manera constante con su medio externo. De acuerdo con la información anterior, ¿cuál de los siguientes modelos representa precisamente un ecosistema abierto?



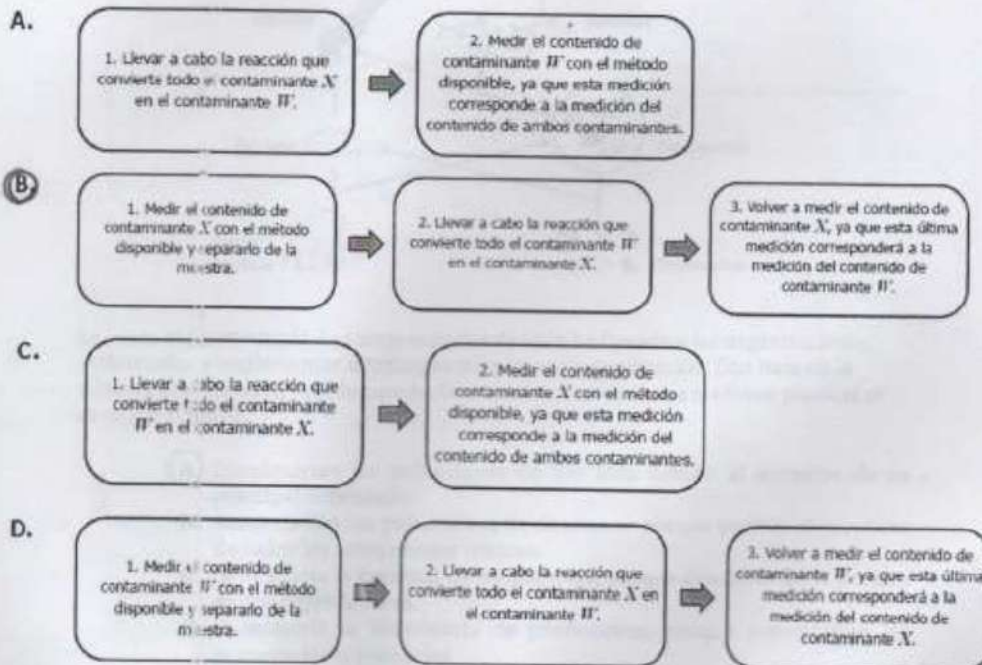
Razón de su respuesta 1: por que tiene la suficiente interacción con los factores externos teniendo un flujo constante de entrada y salida

Razón de su respuesta 2:

Razón de su respuesta 3:

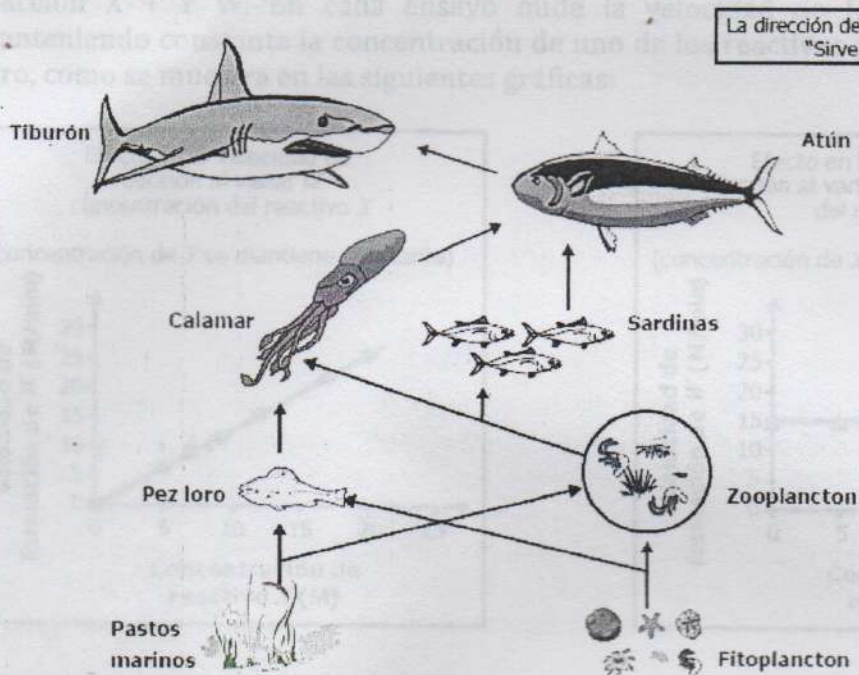
PyREGUNTAS PROPUESTAS

1. Unos investigadores quieren saber si el agua de la llave está contaminada por dos tipos de contaminantes (X y W). Los investigadores únicamente disponen de un método que permite medir la cantidad de contaminante X, pero saben que existe una reacción química mediante la cual pueden convertir todo el contaminante W en el contaminante X. Teniendo en cuenta esta información, si se quiere saber cuál es el contenido de contaminantes X y W, por separado, en una muestra de agua de la llave, ¿cuál sería el procedimiento adecuado?



- 1 Razón de su respuesta 1: Primero se debe medir lo que en este caso está más sencillo ya que si se tiene el método para medir X.
- 1 Razón de su respuesta 2: Se debe separar X de la otra muestra ya que nos piden el valor de X y W por separado. Separar antes de convertir.
- 1 Razón de su respuesta 3: Usar la posibilidad de poder convertir el contaminante de W a X.

2. El siguiente corresponde a un modelo de lo que sería una red trófica marina.



La pesca indiscriminada de varias especies de atún ha llevado a las organizaciones ambientales a implementar estrategias para impedir su extinción. Con base en la información anterior, ¿qué le sucedería al ecosistema marino, a mediano plazo, si se extingue el atún?

1

- A. Disminuirían las poblaciones de pez loro debido al aumento de su principal depredador.
- B. Aumentarían las poblaciones de tiburones, porque podrán alimentarse de todos los otros niveles tróficos.
- C. Aumentaría la cantidad de zooplancton, porque disminuirían la presión de sus depredadores.
- D. Disminuiría la abundancia de productores, porque aumentarían los consumidores primarios.

1

Razón de su respuesta 1: Al encontrarse menor población de atún el calamar y las sardinas aumentarían en tamaño de población.

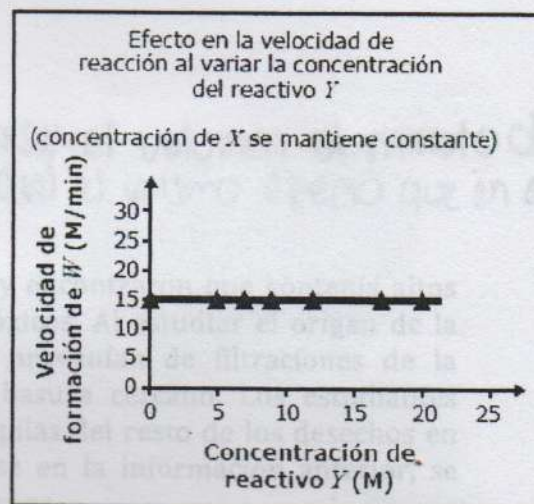
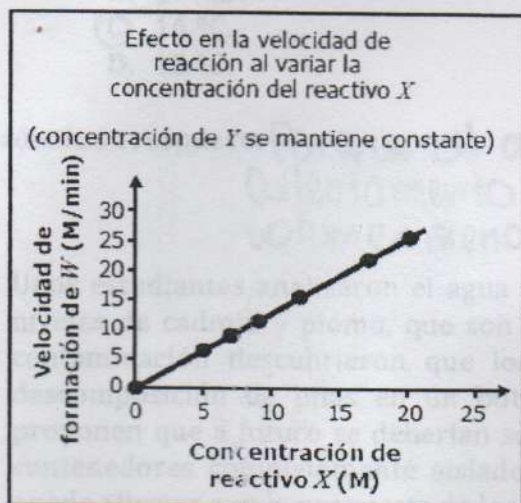
1

Razón de su respuesta 2: Al haber más población de calamar se empezaría a notar la disminución de pez loro ya que es su principal alimento.

1

Razón de su respuesta 3: El zooplancton también se vería afectado por su demanda.

3. Una estudiante realiza diferentes ensayos con el objetivo de determinar el efecto de la concentración de los reactivos sobre la velocidad de formación de W en la reacción $X + Y \rightarrow W$. En cada ensayo mide la velocidad de formación de W manteniendo constante la concentración de uno de los reactivos y variando la del otro, como se muestra en las siguientes gráficas:



Con base en estos resultados se puede concluir que el cambio en la velocidad de formación de W

- 1 ☒ C. depende solamente de la concentración de X.
- A. no depende de la concentración de los reactivos.
B. depende de la concentración de ambos reactivos.
D. depende solamente de la concentración de Y.

2 Razón de su respuesta 1: Varía según su concentración.

Razón de su respuesta 2:

Razón de su respuesta 3:

4. Una estudiante calentó en una estufa, durante un minuto, un litro de agua que inicialmente estaba a 15°C . La temperatura final del agua fue 17°C . Si ahora calienta dos litros de agua que inicialmente están a 15°C , en la misma estufa durante un minuto, se espera que la temperatura final de los dos litros de agua sea

A. 19°C .
B. 17°C .
C. 16°C .
D. 15°C .

Razón de su respuesta

Porque al aumentarse el volumen el minuto de calentamiento no tendrá el mismo efecto que en el volumen menor

5. Unos estudiantes analizaron el agua de un río y encontraron que contenía altos niveles de cadmio y plomo, que son metales tóxicos. Al estudiar el origen de la contaminación descubrieron que los metales provenían de filtraciones de la descomposición de pilas en un botadero de basura cercano. Los estudiantes proponen que a futuro se deberían separar las pilas del resto de los desechos en contenedores completamente aislados. Con base en la información anterior, se puede afirmar que la propuesta de los estudiantes es

A. inapropiada, porque es mejor desarmar las pilas y luego desecharlas.
B. apropiada, porque se evitaría la presencia de metales pesados en el agua.
C. apropiada, porque luego se podrían reutilizar las pilas desechadas.
D. inapropiada, porque es mejor quemarlas ya que no entrarían en contacto con el agua.

Razón de su respuesta 1:

Al tenerlas aisladas no causarían contaminación a los ríos al descomponerse

Razón de su respuesta 2:

Se buscaría la manera de poderlas reutilizar antes de que se descompongan

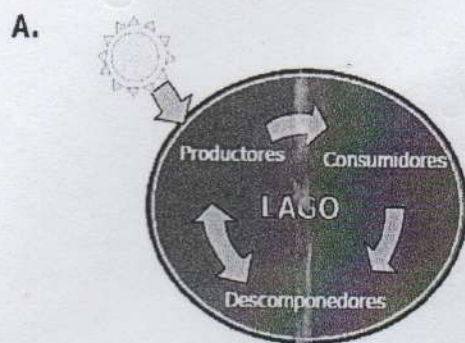
Razón de su respuesta 3:

En este modelo se afirma la cantidad de metales en este caso proveniente de las pilas

Razón de su respuesta 3:

A modo de intercambio solo se pesca y también materia orgánica

6. Los ecosistemas se consideran sistemas abiertos porque en su mantenimiento es fundamental el flujo de materia y energía que intercambian de manera constante con su medio externo. De acuerdo con la información anterior, ¿cuál de los siguientes modelos representa precisamente un ecosistema abierto?



1 Razón de su respuesta 1: En este modelo se aprecia la entrada de energía por medio del sol.

1 Razón de su respuesta 2: En este modelo se aprecia la entrada de materia en este caso proveniente de los ríos.

1 Razón de su respuesta 3: A modo de intercambio sale la pesca y también materia orgánica.